



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Treball Final de Grau

IMPLEMENTACIÓ D'UN ROBOT DELTA AMB IMPRESSORA 3D I ARDUINO

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Curs 18/19

Autor: Valentí Tuset Liria

Directors: Joan Martinez Domene /Teresa Escobet Canal

Data: 10/05/19

Localitat: Manresa

AGRAÏMENTS

Primerament agraeixo a la meva família que m'ha ajudat moralment i econòmicament a realitzar aquest treball.

Posteriorment als directors del projecte Joan Martinez Domene i Teresa Escobet Canal que m'han guiat i solucionat problemes en tot el projecte.

A més agraeixo a tots els docents de la EPSEM la seva dedicació en la transmissió de coneixement i experiències.

També a l'altre personal de l'escola que afavoreix que l'estada al centre sigui agradable.

DEDICATÒRIA

Dedico el treball a tota la comunitat tecnològica que treballa constantment en la millora i el progrés de la societat.

A més a més a tots els meus avantpassats que van treballar moltíssim i que gracies a ells he pogut tenir una qualitat de vida correcte. Entre ells el meu avi Vicente que ens va deixar aquest estiu passat, miner de professió que va treballar 30 anys a les mines de sal de Cardona.

Tanmateix al poble de Saneja on he viscut tota la meva vida i especialment a l'Anna Carreras que va perdre la vida als 35 anys en un accident a la India al Gener de 2019. Advocada de professió amb una brillant carrera professional internacional, un gran exemple a seguir que sempre tindrè en la meva ment.

RESUM DEL TREBALL

El treball consisteix en implementar un robot paral·lel tipus Delta. A través de la informació de la xarxa i documents científics la intenció és confeccionar un robot imprès completament en 3D. Els únics components que no seran impresos seran els electrònics.

Mostrarem els camps d'aplicació dels robots Delta, els seus components, la cinemàtica, el disseny de les seves peces, els circuits (Hardware) i la seva programació (Software).

Utilitzarem una placa de control *Arduino*, ja que es un producte molt utilitzat i existeix una comunitat molt bona.

En el món 3D és necessari un programa de disseny assistit per ordinador (CAD) bastant complert. Així que el programa utilitzat serà el *SOLIDWORKS*.

L'estudiant que realitza el projecte és principiant en el món de la impressió 3D, consegüentment existeixen molts problemes alhora d'executar les impressions. Aquest fet produeix que molt de temps del projecte es destini a la cerca i resolució d'aquests problemes. Aleshores un contingut important del treball serà destinat a mostrar aquests defectes per tal que altres usuaris els pugin resoldre de manera ràpida i eficaç.

THESIS SUMMARY

The thesis consists of implementing a Delta type parallel robot. Through the information of the network and scientific documents the intention is to make a robot printed completely in 3D. The only components that will not be printed will be the electronic ones.

Then we will show the fields of application of the Delta robots, their components, the kinematics, the design of their parts, the circuits (Hardware) and their programming (Software).

We will use an *Arduino* control board, as it is a very used product and there is a very good community.

In the 3D world a fairly complete computer-aided design (CAD) program is necessary. So the program used will be *SOLIDWORKS*.

The student who performs the project is a beginner in the world of 3D printing, consequently there are many problems when executing the prints. This fact means that a lot of time of the project is destined to the search and resolution of these problems. Then an important content of the work will be destined to show these defects so that other users can solve them quickly and efficiently.

INDEX

1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. OBJECTIUS I FINALITAT DEL PROJECTE	1
2. ROBOTS PARAL·LELS	2
2.1. CONCEPTES GENERALS	2
2.2. AVANTATGES I INCONVENIENTS	3
2.3. HISTORIA	3
2.4. UTILITAT	6
2.5. TIPUS DE ROBOTS PARAL·LELS	10
2.6. DESCRIPCIÓ D'UN ROBOT DELTA.....	13
3. DISSENY ESTRUCTURAL I MECÀNIC D'UN ROBOT DELTA.....	15
3.1. COMPONENTS D'UN ROBOT DELTA.....	15
3.2. PROGRAMA DE DISSENY ASSISTIT UTILITZAT	21
3.3. COMPONENTS MECÀNICS.....	23
3.3.1. BASE SUPERIOR	25
3.3.2. BASE INFERIOR	28
3.3.3. BRAÇOS SUPERIORS	30
3.3.4. BRAÇOS INFERIORS	35
3.3.5. ARTICULACIONS BRAÇOS	36
3.3.6. CARGOLS, FEMELLES I ARANDELES	38
3.3.7. ESTRUCTURA DEL ROBOT	41
3.3.8. BASE CENTRAL.....	46
4. MODEL CINEMÀTIC.....	48
4.1. CINEMÀTICA INVERSA	48
4.2. CINEMÀTICA DIRECTA.....	56
5. IMPRESSIÓ 3D	62
5.1. IMPRESORA 3D UTILITZADA.....	62
5.2. VOLUM D'IMPRESSIÓ	63

5.3. COMPONENTS BÀSICS IMPRESORA	64
5.4. MATERIAL UTILITZAT.....	74
5.5. QUANTITAT DE MATERIAL UTILITZAT I TEMPS D'IMPRESSIÓ	75
5.6. PARÀMETRES D'IMPRESSIÓ SELECCIONATS	79
5.6.1. ALÇADA DE CAPA.....	79
5.6.2. DENSITAT DEL FARCIMENT.....	80
5.6.3. TEMPERATURA D'IMPRESSIÓ	80
5.6.4. RETRACCIÓ	81
5.6.5. VELOCITAT D'IMPRESSIÓ	82
5.6.6. SUPORTS.....	82
5.6.7. TIPUS D'ADHERENCIA DE LA PLACA	84
5.7. CALIBRATGE CORRECTE	85
5.8. MANTENIMENT CORRECTE	88
5.8.1. LUBRICACIÓ	88
5.8.2. NETEJA DE LA BOQUERA D'EXTRUSIÓ	89
5.8.3. CANVI DEL TUB DE PTFE	91
5.8.4. PROBLEMES DURANT L'IMPRESSIÓ I RESOLUCIÓ	93
6. COMPONENTS ELECTRÒNICS I CIRCUÏTS.....	101
6.1. PLACA CONTROLADORA ARDUINO MEGA 2560 R3	101
6.2. SERVOMOTORS.....	108
6.2.1. ANÀLISI ESTÀTIC DEL MOMENT	108
6.2.2. SELECCIÓ DEL SERVOMOTOR	112
6.2.3. FUNCIONAMENT DEL SERVOMOTOR	112
6.2.4. CALIBRACIÓ SERVOMOTORS	114
6.3. FONT D'ALIMENTACIÓ	119
6.4. ENCODERS SERVOMOTORS.....	121
6.1. SENSOR DE CORRENT ACS712	124
6.2. MÒDUL RELÉ KY-019.....	124
6.3. LCD 2004 I ENCODER ELECTROMECAÑIC.....	126
6.4. CIRCUÏT D'ALIMENTACIÓ I CONVERSIÓ.....	127
6.5. CIRCUÏT TOTAL	129

7. PROGRAMACIÓ	131
7.1. FUNCIO servoPulse().....	133
7.2. FUNCIO delta_calcAngleYZ()	133
7.3. FUNCIO delta_calcInverse()	135
7.4. FUNCIO delta_calcForward().....	136
7.5. FUNCIO CalculCorrent()	137
7.6. FUNCIO mostra_intensitat().....	138
7.7. FUNCIONS D'INTERRUPCIÓ	139
7.8. FUNCIO readButtons()	140
7.9. FUNCIO openMenu()	141
7.10. FUNCIO openSubMenu().....	142
7.11. FUNCIO Setup().....	143
7.12. FUNCIO Loop().....	144
8. PRESSUPOST	146
9. CONCLUSIONS	150
10. BIBLIOGRAFIA	152
11. ANNEXOS	159
11.1. ANNEX I. COMPONENTS I PLÀNOLS DE PECES.	159
11.2. ANNEX II. PLÀNOLS ELECTRÒNICS.....	192
11.3. ANNEX III DESMUNTATGE DEL HEATCORE PER ORDRE	196
11.4. ANNEX IV. PROCÉS DE MUNTATGE	207
11.5. ANNEX V. PROGRAMA COMPLERT.....	216
11.6. ANNEX VI. DATASHEETS DELS COMPONENTS UTILITZATS.....	238
11.6.1. SENSOR DE CORRENT ACS712	238
11.6.2. TRANSISTOR PNP TIP 147	255
11.6.3. CONVERTIDOR DE VOLTATGE L7808.....	259
11.6.4. SERVOMOTOR LD-20MG	318
11.6.5. INCREMENTAL ENCODER SoGee 600P/R	321

11.6.6. ENCODER ELECTROMECHANIC KY-040	323
11.6.7. LCD2004 Module	325
11.6.8. KEYES 5V Relay Module KY-019.....	335

ÍNDIX DE TAULES

<i>Taula 3-1 Longituds bàsiques.....</i>	<i>17</i>
<i>Taula 3-2 Peces assemblatges.....</i>	<i>22</i>
<i>Taula 3-3 Extensions documents Solidworks.....</i>	<i>22</i>
<i>Taula 3-4 Peces projecte</i>	<i>24</i>
<i>Taula 3-5 Integració i derivades d'equacions.....</i>	<i>33</i>
<i>Taula 4-1 Centre i radi de les circumferències.....</i>	<i>51</i>
<i>Taula 4-2 Equacions de les circumferències</i>	<i>52</i>
<i>Taula 4-3 Coordenades del centre de cada esfera</i>	<i>59</i>
<i>Taula 4-4 Equacions esferes.....</i>	<i>59</i>
<i>Taula 4-5 Equacions esferes desenvolupades 1.....</i>	<i>60</i>
<i>Taula 4-6 Equacions esferes desenvolupades 2</i>	<i>60</i>
<i>Taula 4-7 Resolució dels sistemes d'equacions.....</i>	<i>60</i>
<i>Taula 4-8 Paràmetres equacions.....</i>	<i>61</i>
<i>Taula 5-1 Massa de cada peça i temps d'impressió.....</i>	<i>76</i>
<i>Taula 6-1 Característiques bàsiques Arduino Mega 2560R3.....</i>	<i>103</i>
<i>Taula 6-2 Ample de pols corresponent a angle servo.....</i>	<i>117</i>
<i>Taula 6-3 Voltatge i intensitat dels components projecte.....</i>	<i>119</i>
<i>Taula 6-4 Consum corresponent a cada Voltatge</i>	<i>120</i>
<i>Taula 8-1 Períodes de tarifa elèctrica.....</i>	<i>147</i>
<i>Taula 8-2 Preu dels components del projecte</i>	<i>148</i>
<i>Taula 8-3 Simulació factura de la llum.....</i>	<i>149</i>

ÍNDIX DE FIGURES

<i>Figura: 2-1 Tipus d'articulacions</i>	<i>2</i>
<i>Figura: 2-2 Articulació universal.....</i>	<i>3</i>
<i>Figura: 2-3 Plataforma de James Gwinnet</i>	<i>4</i>
<i>Figura: 2-4 Robot de pintura de William Pollard</i>	<i>4</i>
<i>Figura: 2-5 Plataforma de Gough.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura: 2-6 Simulador de vol.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura: 2-7 Reymond Clavel [4]</i>	<i>6</i>
<i>Figura: 2-8 ABB IRB 360 SERIES</i>	<i>7</i>
<i>Figura: 2-9 Hexapode Okuma.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura: 2-10 Robot P-arm</i>	<i>8</i>
<i>Figura: 2-11 Radio telescopi AMiBA</i>	<i>9</i>
<i>Figura: 2-12 Robot trepador [7]</i>	<i>9</i>
<i>Figura: 2-13 Robot Biglide.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura: 2-14 Robot 3RRR</i>	<i>11</i>
<i>Figura: 2-15 Robot Orthoglide.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura: 2-16 Plataforma Stewart.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura: 2-17 Robot planar</i>	<i>13</i>
<i>Figura: 2-18 MPC discret</i>	<i>14</i>
<i>Figura: 3-1 Paràmetres geomètrics i sistema de referencia.</i>	<i>16</i>
<i>Figura: 3-2 Components bàsics del robot construït.</i>	<i>18</i>
<i>Figura: 3-3 Base superior.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura: 3-4 Base inferior.</i>	<i>19</i>
<i>Figura: 3-5 Longitud braç superior del programa.</i>	<i>19</i>
<i>Figura: 3-6 Longitud braç superior disseny mecànic.</i>	<i>20</i>
<i>Figura: 3-7 Braç inferior</i>	<i>20</i>
<i>Figura: 3-8 Gruix base superior</i>	<i>27</i>
<i>Figura: 3-9 Base superior amb buits.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura: 3-10 Base inferior</i>	<i>29</i>
<i>Figura: 3-11 Força tallant, moment de flexió i flexió d'una biga.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura: 3-12 Variació del angle de gir d'una biga amb flexió.</i>	<i>34</i>
<i>Figura: 3-13 Braç inferior al programa d'impressió 3D.</i>	<i>35</i>
<i>Figura: 3-14 Rotacions articulació universal.</i>	<i>36</i>
<i>Figura: 3-15 Coixinet de boles</i>	<i>37</i>
<i>Figura: 3-16 Rotacions braç superior-inferior.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura: 3-17 Suports cònics esferes.</i>	<i>38</i>

<i>Figura: 3-18 Paràmetres rosca mètrica</i>	39
<i>Figura: 3-19 Tipus de cargols del projecte</i>	40
<i>Figura: 3-20 Cargols sobre la base d'impressió</i>	41
<i>Figura: 3-21 Estructura de sustentació del Robot</i>	42
<i>Figura: 3-22 Deformació d'un cub [22]</i>	43
<i>Figura: 3-23 Diagrama Esforç-Deformació[23]</i>	43
<i>Figura: 3-24 Assaig de tracció [24]</i>	44
<i>Figura: 3-25 Forces aplicades en l'estructura de sustentació</i>	45
<i>Figura: 3-26 Anàlisi de tensions de Von Mises</i>	45
<i>Figura: 3-27 Base inferior dividida</i>	47
<i>Figura: 3-28 Parts base central</i>	47
<i>Figura: 4-1 Rotacions braços</i>	48
<i>Figura: 4-2 Punt de tall J de les circumferències</i>	49
<i>Figura: 4-3 Paràmetres equació circumferència</i>	51
<i>Figura: 4-4 Rotació dels eixos de coordenades</i>	56
<i>Figura: 4-5 Punt de tall de les 3 esferes</i>	57
<i>Figura: 4-6 Translació dels centres de les esferes</i>	57
<i>Figura: 4-7 Translació del punt J</i>	58
<i>Figura: 5-1 BQ Hephestos 2</i>	62
<i>Figura: 5-2 Disposició de peces en la capça i la referència corresponent</i>	63
<i>Figura: 5-3 Volum d'impressió BQ Hephestos 2</i>	63
<i>Figura: 5-4 Eixos de coordenades volum d'impressió</i>	64
<i>Figura: 5-5 Eixos impressora</i>	65
<i>Figura: 5-6 Interfície impressora</i>	65
<i>Figura: 5-7 Connexions a placa controladora</i>	66
<i>Figura: 5-8 Placa interfície</i>	67
<i>Figura: 5-9 Cara frontal impressora</i>	67
<i>Figura: 5-10 Cara lateral impressora</i>	68
<i>Figura: 5-11 Components principals del Heatcore</i>	70
<i>Figura: 5-12 Comparació peça impresa amb ventilador de capa [36]</i>	70
<i>Figura: 5-13 Sensor inductiu BQ Hephestos 2</i>	71
<i>Figura: 5-14 Làmina d'acer base d'impressió</i>	71
<i>Figura: 5-15 Esquema funcionament sensor inductiu [40]</i>	72
<i>Figura: 5-16 Camp magnètic d'alta freqüència</i>	72
<i>Figura: 5-17 Làmina de vidre</i>	73
<i>Figura: 5-18 Zones del Hotend [44]</i>	74
<i>Figura: 5-19 Bobinat d'1Kg de PLA</i>	75
<i>Figura: 5-20. Gràfica de la massa de cada peça</i>	78

Figura: 5-21 Gràfica del temps d'impressió de cada peça.....	79
Figura: 5-22 Alçades de capa d'impressió.	79
Figura: 5-23 Farciment trihexagonal.....	80
Figura: 5-24 Peça sense retracció [38].	81
Figura: 5-25 Peça sense suports [41].....	83
Figura: 5-26 Esquema del angle de voladís [39].	83
Figura: 5-27 Formes de suports d'impressió.....	84
Figura: 5-28 Base inferior amb adherència Brim.....	84
Figura: 5-29 Posició Home impressora.	85
Figura: 5-30 Cargols de regulació d'alçada.	86
Figura: 5-31 Calibratge amb paper.	86
Figura: 5-32 Esquema del offset [43].	87
Figura: 5-33 Regulació del Offset.	88
Figura: 5-34 Neteja i lubricació d'articulacions [45].....	89
Figura: 5-35 Lubricació de la vareta roscada [45].	89
Figura: 5-36 Neteja boquera amb agulla d'acupuntura.....	90
Figura: 5-37 Agulla d'acupuntura amb impureses.	90
Figura: 5-38 Filament sense tub de PTFE [46].	91
Figura: 5-39 Filament amb tub de PTFE [46].	91
Figura: 5-40 Contracció del tub de PTFE.....	92
Figura: 5-41 Afluixament del cargol del Hotend.....	93
Figura: 5-42 Extracció tub PTFE.....	93
Figura: 5-43 Filament trencat.....	94
Figura: 5-44 1ª capa d'impressió incorrecte.....	95
Figura: 5-45 Impressió d'una peça amb base desnivellada.....	96
Figura: 5-46 Peça amb Warping.....	96
Figura: 5-47 Base calefactada.	97
Figura: 5-48 Bovinament del filament de PLA.	98
Figura: 5-49 Error en la lectura de temperatura.	98
Figura: 5-50 Comprovació sonda NTC de 100KΩ.....	99
Figura: 5-51 Extracció de cables impressora.	100
Figura: 5-52 Instal·lació de cable nou sonda de temperatura.	100
Figura: 6-1 [29] Components bàsics Arduino Mega 2560R3 de manera gràfica.....	104
Figura: 6-2 [32] Connectivitats ATmega 2560.	106
Figura: 6-3 Registre d'estat.	106
Figura: 6-4 Registres de propòsit general.	107
Figura: 6-5 Moviment efector final amb Solidworks.	108
Figura: 6-6 Distàncies al punt F.	109

<i>Figura: 6-7 Massa base superior.</i>	110
<i>Figura: 6-8 [34] Rang ample de pols PWM del nostre servomotor.</i>	112
<i>Figura: 6-9 [34] Ample de pols – Angle servomotors.</i>	113
<i>Figura: 6-10 [33] Elements mecànics i electrònics servo.</i>	113
<i>Figura: 6-11 [33] Desmuntatge servomotor.</i>	114
<i>Figura: 6-12 Simulació PWM amb generador de senyals.</i>	115
<i>Figura: 6-13 Servomotor a 0°.</i>	115
<i>Figura: 6-14 Ample de pols PWM amb angle servo 0°.</i>	116
<i>Figura: 6-15 Servomotor a 180°.</i>	116
<i>Figura: 6-16 Ample de pols PWM amb angle servo 180°.</i>	116
<i>Figura: 6-17 Rang positiu i negatiu de theta.</i>	118
<i>Figura: 6-18 Eix Theta=0 en horitzontal.</i>	118
<i>Figura: 6-19 Angles Figura: 6-18 desplaçats 180°.</i>	119
<i>Figura: 6-20 Components bàsics encoder [47].</i>	121
<i>Figura: 6-21 Canals A i B encoder [47].</i>	122
<i>Figura: 6-22 Sortida amb col·lector obert [48].</i>	122
<i>Figura: 6-23 Col·lector obert amb un interruptor [49].</i>	123
<i>Figura: 6-24 Col·lector amb resistència de Pull-up.</i>	123
<i>Figura: 6-25 Principals parts d'un relé.</i>	125
<i>Figura: 6-26 Disc d'un Rotary Encoder [54].</i>	126
<i>Figura: 6-27 Resistències de Pull-up encoder menú. [53].</i>	127
<i>Figura: 6-28 Intensitat màxima de sortida L7808</i>	128
<i>Figura: 6-29 Intensitats circuit d'alimentació al pitjor cas possible.</i>	129
<i>Figura: 6-30 Circuit total amb el programa Fritzing.</i>	130
<i>Figura: 7-1 Diagrama de les funcions del programa Delta</i>	131
<i>Figura: 7-2 Diagrama de funcionament servoPulse()</i>	133
<i>Figura: 7-3 Diagrama de funcionament delta_calcAngleYZ()</i>	134
<i>Figura: 7-4 Diagrama de les operacions de la funció delta_calcAngleYZ()</i>	134
<i>Figura: 7-5 Diagrama de funcionament delta_calcInverse()</i>	135
<i>Figura: 7-6 Diagrama de les operacions de la funció delta_calcInverse()</i>	136
<i>Figura: 7-7 Diagrama de funcionament delta_calcForward()</i>	136
<i>Figura: 7-8 Diagrama de les operacions de la funció delta_calcForward()</i>	137
<i>Figura: 7-9 Diagrama de funcionament CalculCorrent()</i>	138
<i>Figura: 7-10 Diagrama de funcionament mostra_intensitat()</i>	138
<i>Figura: 7-11 Diagrama de funcionament funció d'interrupció quan flanc ascendent en A.</i>	139
<i>Figura: 7-12 Diagrama de funcionament funció d'interrupció quan flanc ascendent en B.</i>	139
<i>Figura: 7-13 Diagrama de funcionament readButtons().</i>	141
<i>Figura: 7-14 Diagrama de funcionament funció openMenu().</i>	142

<i>Figura: 7-15 Diagrama de funcionament openSubMenu().</i>	143
<i>Figura: 7-16 Valor de selecció mostrat al display LCD.</i>	143
<i>Figura: 7-17 Diagrama de funcionament SetUp().</i>	144
<i>Figura: 7-18 Diagrama de funcionament Loop().</i>	145
<i>Figura: 7-19 Valors encoders i coordenades XYZ.</i>	145
<i>Figura: 11-1 Assemblatge complet Robot Delta</i>	159
<i>Figura: 11-2 Assemblatge braços i estructura.</i>	160
<i>Figura: 11-3 Braços del Robot Delta.</i>	161
<i>Figura: 11-4 Assemblatge d'un dels braços amb la base inferior i superior.</i>	162
<i>Figura: 11-5 Assemblatge d'un dels braços.</i>	163
<i>Figura: 11-6 Assemblatge del braç inferior amb els coixinets.</i>	164
<i>Figura: 11-7 Assemblatge del coixinet.</i>	165
<i>Figura: 11-8 Components de l'estructura.</i>	166
<i>Figura: 11-9 Cargols columna estructura</i>	167
<i>Figura: 11-10 Sortides processador ATMEGA 2560 [27]</i>	193
<i>Figura: 11-11 Sortides de potència Arduino MEGA 2560 R3 [27].</i>	194
<i>Figura: 11-12 Entrades/Sortides digitals Arduino MEGA 2560 R3 [27]</i>	194
<i>Figura: 11-13 Pin out Arduino MEGA 2560 R3 [26].</i>	195
<i>Figura: 11-14 Desmuntatge reixa ventilador extrusor.</i>	196
<i>Figura: 11-15 Extracció dissipador extrusor.</i>	196
<i>Figura: 11-16 Desmuntatge motlle de retenció.</i>	197
<i>Figura: 11-17 Cables sonda temperatura i del cartutx de fusió.</i>	197
<i>Figura: 11-18 Desconnexió de sonda de temperatura i del cartutx de fusió.</i>	198
<i>Figura: 11-19 Afluixament cargols del Hotend.</i>	198
<i>Figura: 11-20 Desmuntatge del Heatcore de l'articulació lineal X.</i>	199
<i>Figura: 11-21 Desmuntatge boquera de ventilació de capa.</i>	199
<i>Figura: 11-22 Heatcore extret de l'articulació lineal del eix X.</i>	200
<i>Figura: 11-23 Cables Heatcore</i>	200
<i>Figura: 11-24 Desmuntatge ventilador de capa</i>	201
<i>Figura: 11-25 Cables ventilador de capa i ventilador d'extrusor.</i>	201
<i>Figura: 11-26 Molla de retenció</i>	202
<i>Figura: 11-27 Desmuntatge motor de pas extrusor</i>	202
<i>Figura: 11-28 Engranatge impulsor del filament</i>	203
<i>Figura: 11-29 Engranatge del motor de pas del extrusor.</i>	203
<i>Figura: 11-30 Eix engranatges i molla de tracció</i>	204
<i>Figura: 11-31 Separació del motor de pas del extrusor.</i>	204
<i>Figura: 11-32 Extracció del Hotend</i>	205
<i>Figura: 11-33 Cargol de subjecció del Hotend.</i>	205

<i>Figura: 11-34 Peça conductora del filament.</i>	206
<i>Figura: 11-35 Components del Hotend.</i>	206
<i>Figura: 11-36 Separació de peça de la base d'impressió.</i>	207
<i>Figura: 11-37 Extracció dels suports d'impressió</i>	207
<i>Figura: 11-38 Poliment de peces</i>	208
<i>Figura: 11-39 Columna estructura de sustentació</i>	208
<i>Figura: 11-40 Estructura de sustentació sense els cargols.</i>	209
<i>Figura: 11-41 Comprovació dels circuits i components</i>	209
<i>Figura: 11-42 Connexió de cables en placa controladora.</i>	210
<i>Figura: 11-43 Buits de l'estructura de sustentació per introduir cables.</i>	210
<i>Figura: 11-44 Muntatge dels servomotors i encoders sobre la base superior.</i>	211
<i>Figura: 11-45 Inserció de cables en l'estructura de sustentació 1.</i>	211
<i>Figura: 11-46 Inserció de cables en l'estructura de sustentació 2.</i>	212
<i>Figura: 11-47 Caixa de connexions.</i>	212
<i>Figura: 11-48 Caixa de connexions i font d'alimentació.</i>	213
<i>Figura: 11-49 Alçada del Delta muntat</i>	213
<i>Figura: 11-50 Planta del Delta muntat.</i>	214
<i>Figura: 11-51 Vista en perspectiva del robot complert</i>	214

1. INTRODUCCIÓ

1.1. OBJECTIUS I FINALITAT DEL PROJECTE

L'objectiu del treball és dissenyar i construir un robot delta mitjançant la impressió 3D. A través d'una interfície gràfica modificarem els paràmetres del robot perquè es mogui a un punt concret referenciat en un sistema de coordenades. El projecte no contempla operacions com ara la de *Pick and Place* ja que podran ser dissenyades per altres persones de l'escola.

També es volen cercar, entendre i explicar algoritmes informàtics per tal de controlar la posició i el moviment del robot.

La finalitat del projecte és aprendre els conceptes necessaris per dissenyar un robot i fer-lo realitat utilitzant les noves tecnologies que estan al abast del ciutadà.

Alguns continguts del treball poden servir com a material didàctic per aquelles persones que s'estan iniciant en el món 3D.

2. ROBOTS PARAL·LELS

2.1. CONCEPTES GENERALS

Els robots paral·lels són cadenes cinemàtiques tancades que tenen un efector final o plataforma mòbil que està connectada a una altra base fixa. La connexió entre la base i l'efector final es fa a través de cadenes cinemàtiques independents [\[1\]](#).

Aquestes cadenes o “comes” són simètriques entre elles.

Els tipus d'articulacions presents en aquest tipus de robots són les següents:

- Rotacionals-> Tenen 1 Grau de llibertat. (Figura: 2-1 [1])
- Prismàtiques-> Tenen 1 Grau de llibertat. (Figura: 2-1 [1])
- Universals-> Són les que hem emprat en el nostre projecte i tenen 2 graus de llibertat (Figura: 2-2 [2])
- Esfèriques-> Tenen forma de ròtula i tenen 3 Graus de llibertat. ((Figura: 2-1 [1]))

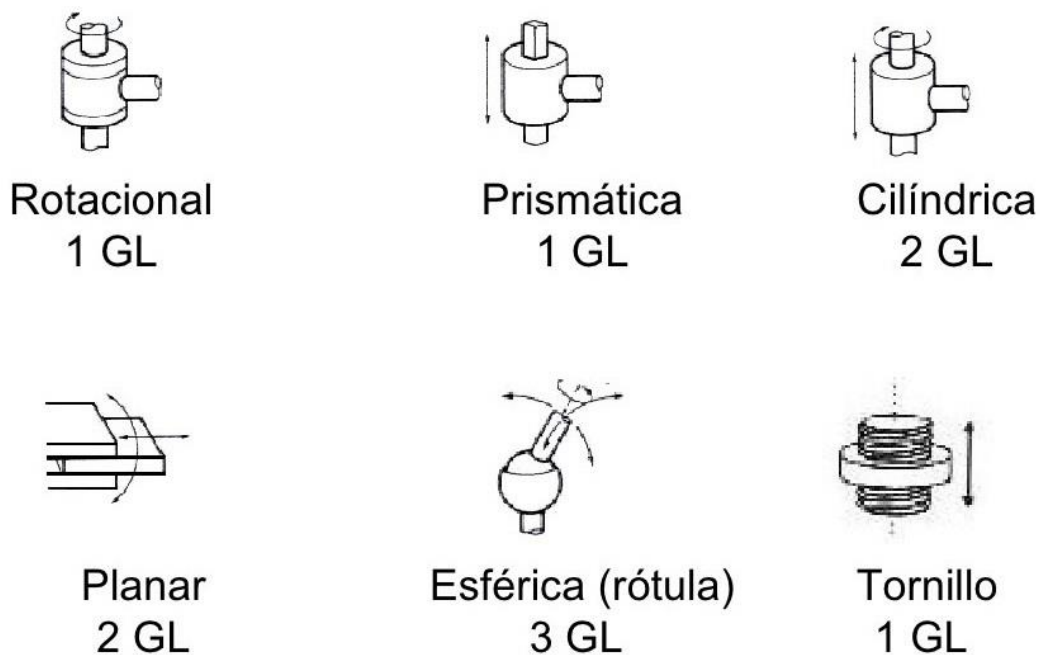


Figura: 2-1 Tipus d'articulacions

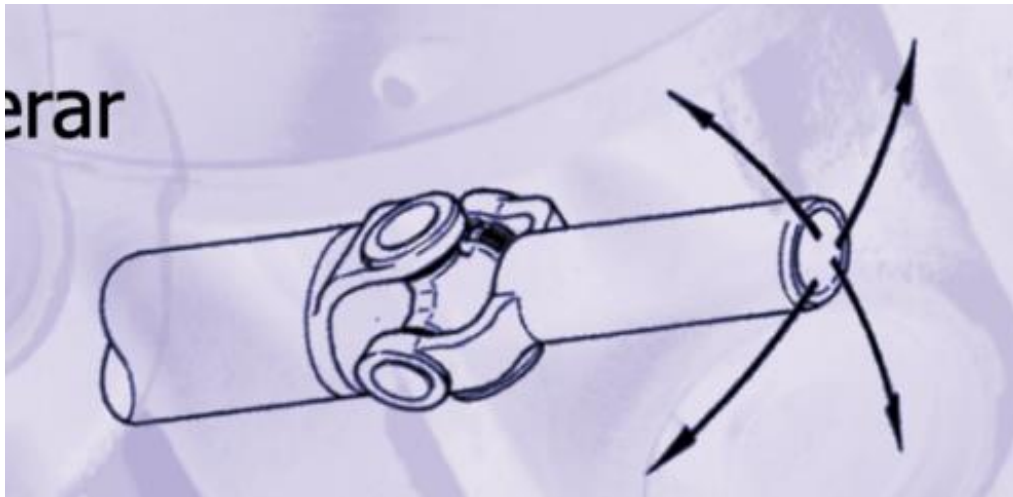


Figura: 2-2 Articulació universal

Normalment una de les articulacions és actuada i les altres son passives.

2.2. AVANTATGES I INCONVENIENTS

Comparant amb els robots que tenen una estructura sèrie, els paral·lels tenen una relació carga/potència elevada ja que els accionaments de potencia connecten directament la base fixa del robot al efector final. A més tenen uns elements estructurals que actuen de manera simultània i són capaços d'aixecar una massa superior que el seu propi pes.

Aquestes estructures tancades posseeixen l'avantatge que poden aconseguir velocitats y acceleracions molt més grans que els robots sèrie. Posseeixen una alta rigidesa ja que el pes està repartit entre les diferents cadenes cinemàtiques i permeten obtenir una major precisió.

[\[3\]](#)

Com a inconvenients destacarem que la construcció dels models cinemàtics i dinàmics és més complicada que la dels robots sèrie.

Els principals inconvenients és que tenen una cinemàtica més complexa, un espai de treball més petit i una major exigència en els algorismes de control. [\[3\]](#)

2.3. HISTORIA

Els robots paral·lels ja fa més de 50 anys que es van inventar.

Els primers avanços tècnics van ser els de James Gwinnet al 1931 que va desenvolupar unes graderies d'un cinema (Figura: 2-3) [1] que es movien en funció del que succeïa en la pel·lícula.

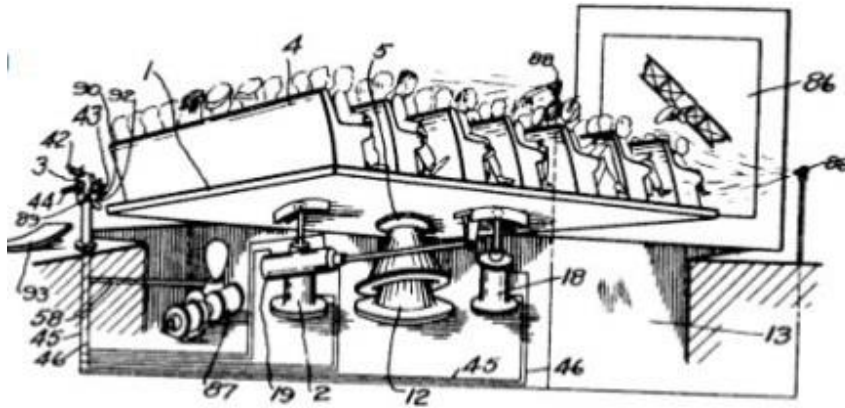


Figura: 2-3 Plataforma de James Gwinnet

Una dècada posterior Williard Pollard va inventar un robot paral·lel per tal d'automatitzar el procés de pintura. (Figura: 2-4).

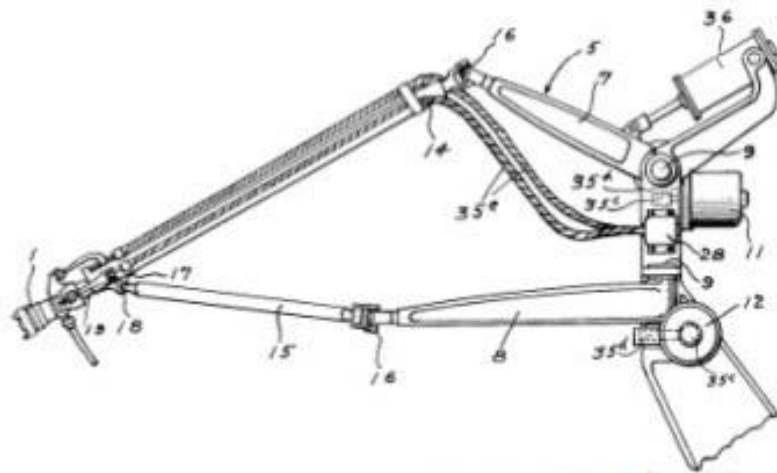


Figura: 2-4 Robot de pintura de William Pollard

Posteriorment Gough va dissenyar l'any 1947 una plataforma per l'empresa Dunlop Rubber Co per comprovar els pneumàtics dels avions [3]. Era com una espècie d'aranya (hexàpode) que tenia les potes de longitud variable. Amb aquesta estructura (Figura: 2-5) es simulava el procés d'aterratge d'un avió [3].

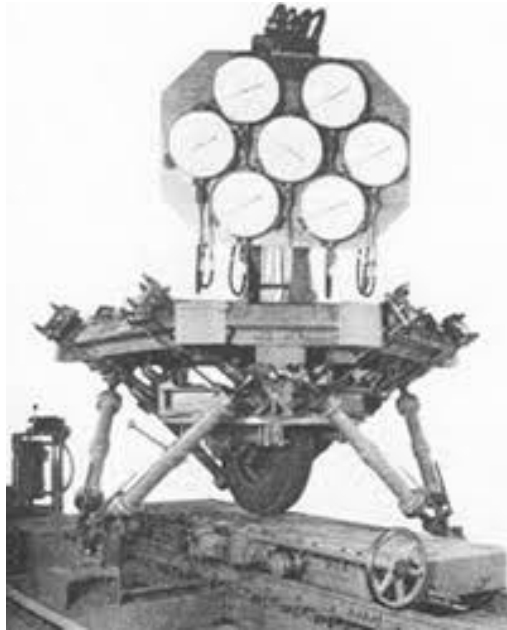


Figura: 2-5 Plataforma de Gough

Posteriorment Stewart (1965) va presentar una estructura paral·lela que era un simulador de vol. La unió de les cadenes cinemàtiques del mecanisme va permetre obtenir moviments molt semblants als d'una cabina d'un pilot [\[3\]](#). Un exemple seria un simulador de vol de la companyia Lufthansa construït sobre una plataforma Stewart (Figura: 2-6)



Figura: 2-6 Simulador de vol.

Així va ser que McCallion y Pham (1979) van ser els primers que van utilitzar una plataforma Stewart en un procés d'assemblatge, ja que la posició de la plataforma mòbil era menys sensible als errors que tenen els sensors articulats dels robots sèrie. [3]

Les estructures històriques més importants són les anomenades Hexàpodes de 6GDL i la Delta 3GDL que va ser proposada per l'enginyer mecànic suís Reymond Clavel (Figura: 2-7) al 1989 que va ser el creador del robot delta.



Figura: 2-7 Reymond Clavel [4]

2.4. UTILITAT

Els robots paral·lels s'han utilitzats en un ampli camp tecnològic:

- Transferència de peces a alta velocitat. Exemple: Robot delta ABB IRB 360 SERIES. (Figura: 2-8)
- Mecanitzat de peces. Exemple: Hexapode Okuma emprat en la mecanització de peces [5] (Figura: 2-9).
- Robot per la cirurgia mínimament invasiva. Exemple: Robot paral·lel P-arm usat en la cirurgia laparoscòpia [5] (Figura: 2-10).

Aquests tipus de robots s'utilitzen per fer incisions molt petites i precises. D'aquesta manera es poden introduir uns instruments i una petita càmera a l'interior del cos per

fer les operacions. Les operacions que requereixen més precisió són les oculars. Amb aquests robots podem obtenir precisions a nivell micromètric. [5]

- Posicionament d'antenes parabòliques. Exemple: Radio telescopi AMiBA. Detector de microones còsmiques [6] Figura: 2-11.
- Robots trepadors per tasques de manteniment. Exemple en la Figura: 2-12 Robot trepador [7]
- Estructures tele operades com ara en centrals nuclears.
- Robots paral·lels submarins



Figura: 2-8 ABB IRB 360 SERIES



Figura: 2-9 Hexapode Okuma

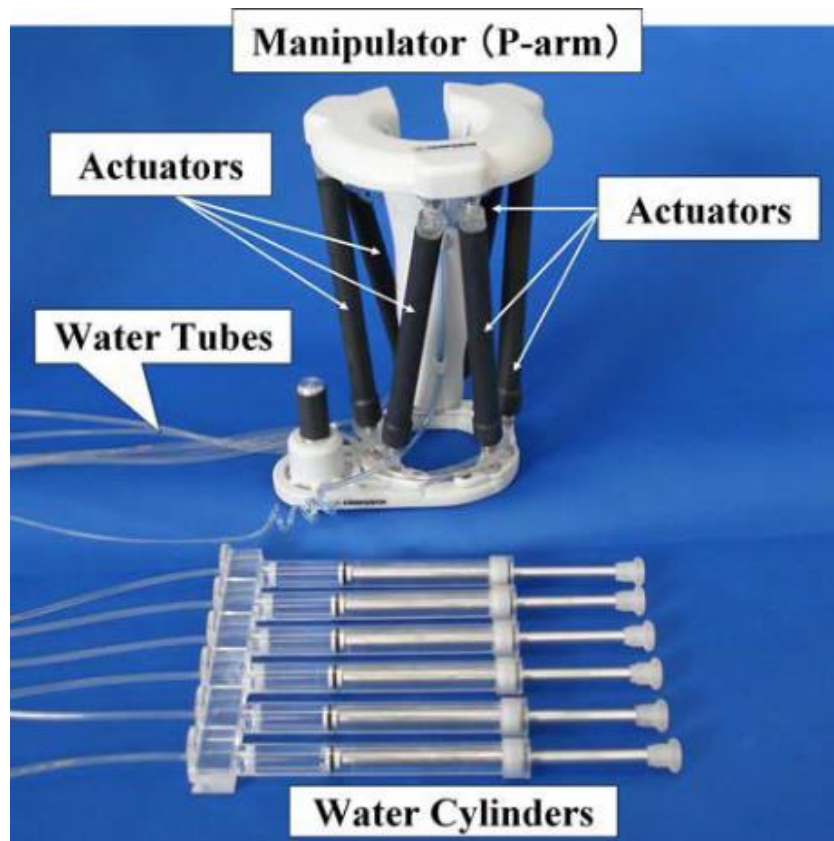


Figura: 2-10 Robot P-arm



Figura: 2-11 Radio telescopio AMiBA



Figura: 2-12 Robot trepador [\[7\]](#)

2.5. TIPUS DE ROBOTS PARAL·LELS

Hi ha diverses maneres de classificar els robots paral·lels [1]. En aquest treball els classifiquem segons el nombre de graus de llibertat i segons el moviment.

Segons els graus de llibertat:

El rang de GDL (Graus de Llibertat) que tenen va de 2 a 6.

- **Robots de 2 GDL** → Exemple: Robot Biglide [1] (Figura: 2-13)
- **Robots de 3 GDL** → Exemples: Robot 3RRR [8] (Figura: 2-14) i el Orthoglide [9] (Figura: 2-15) el qual té 3 actuadors lineals que mouen els braços AB.
- **Robots de 6 GDL** → Exemple: Plataforma Stewart-Gough (Figura: 2-16), disposa de 3GDL que pertanyen al moviment lineal en els eixos XYZ. Els altres 3GDL pertanyen a la rotació respecte els eixos XYZ. (3 translacions i 3 rotacions)



Figura: 2-13 Robot Biglide

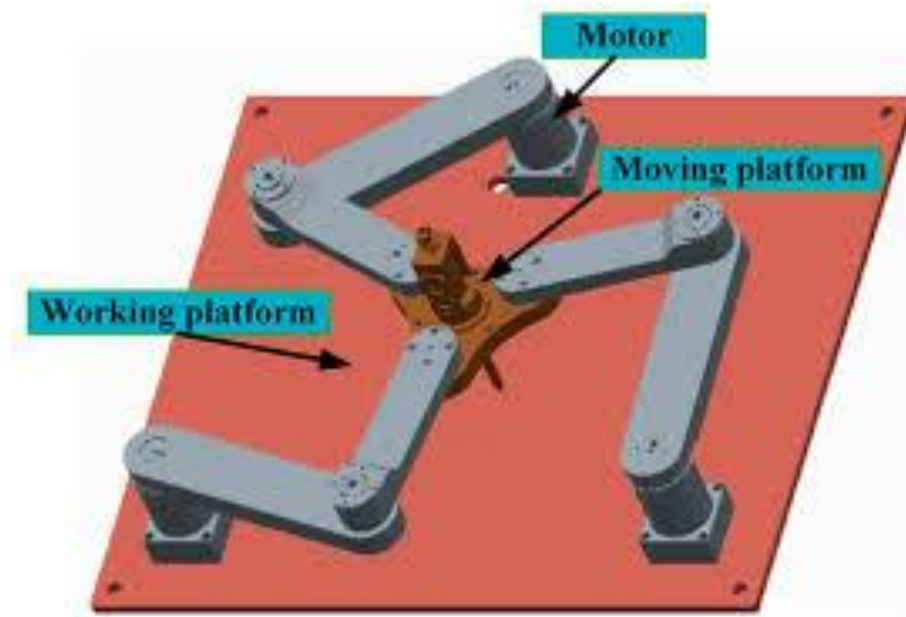


Figura: 2-14 Robot 3RRR

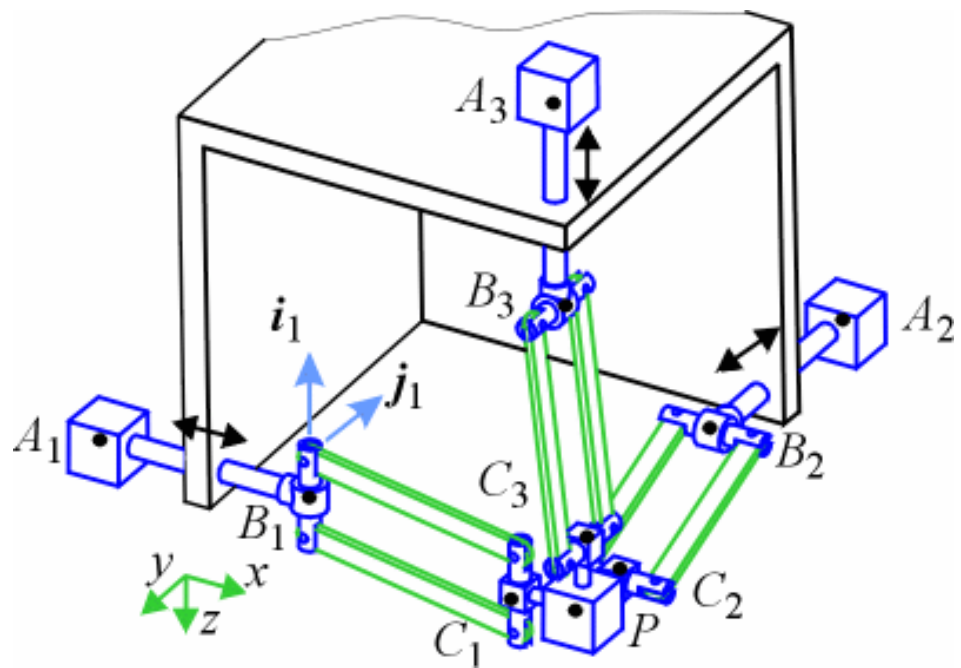


Figura: 2-15 Robot Orthoglide

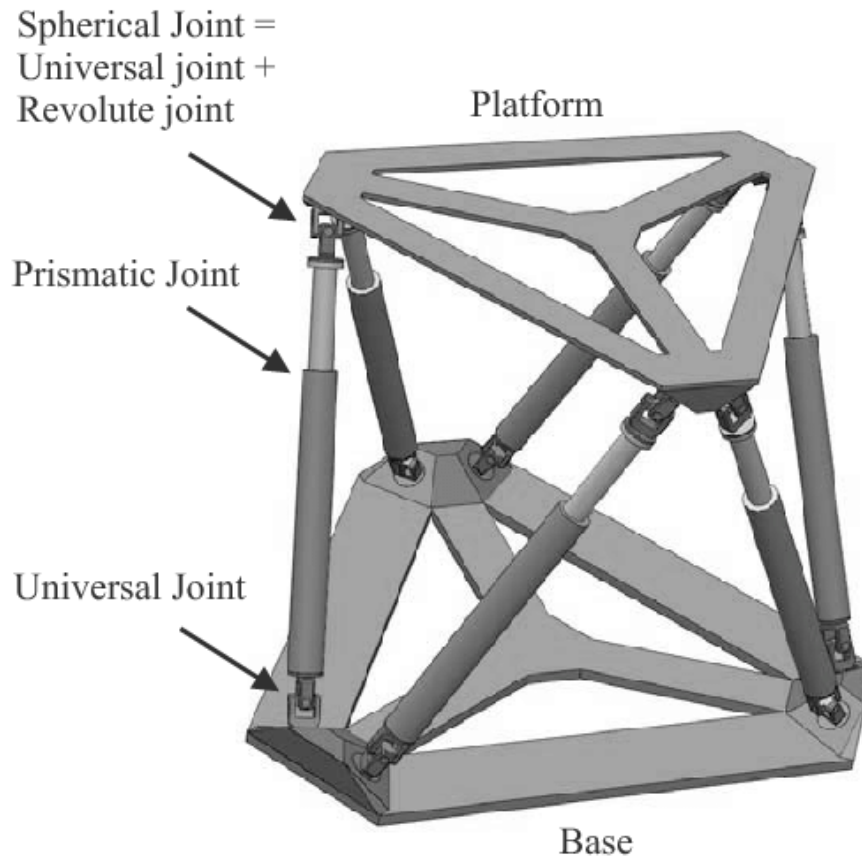


Figura: 2-16 Plataforma Stewart

Segons el moviment:

- **Robots planars**→ El seu moviment es redueix a un pla de 2 dimensions. Els seus GDL poden ser de 2 o 3. Moviment de translació en el pla i rotació sobre l'eix perpendicular al pla [3]. Exemple en la Figura: 2-17
- **Robots espacials**→ El seu moviment es realitza en un volum o espai tridimensional. Pot tenir fins a 6 GDL (3 translacions i 3 rotacions). El nostre robot paral·lel pertany a aquest grup i té 3GDL.
- La seva aplicació més important en la indústria és l'operació anomenada “*pick and place*” ja que el robot pot transportar objectes d'un lloc a un altre. [3]

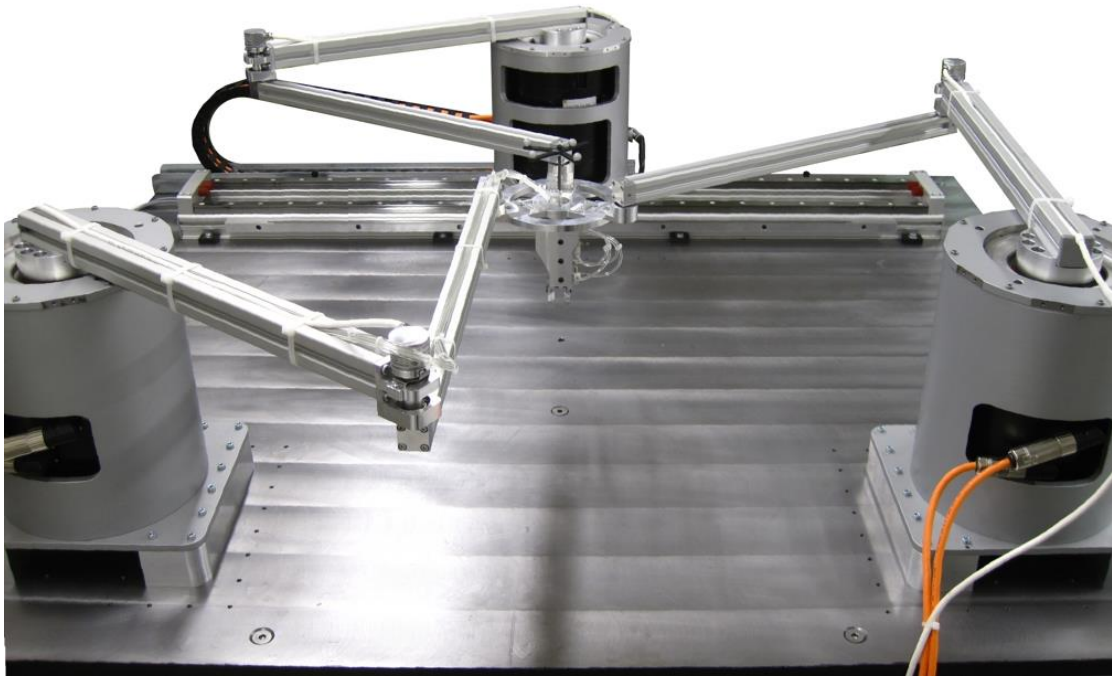


Figura: 2-17 Robot planar

2.6. DESCRIPCIÓ D'UN ROBOT DELTA

L'avantatge principal del robot delta és la velocitat. Un braç robòtic típic ha de moure la carrega i també tots els servomotors de cada articulació. En el cas del delta només movem l'esquelet que està fet de materials lleugers. Els Delta son utilitzats àmpliament en operacions de “*pick and place*” en objectes lleugers de fins a 1kg.

La base del robot delta pot suportar 50 vegades l'acceleració de la gravetat. Fet impossible que es produeixi en estructures tipus sèrie. Poden manipular objectes en l'espai a unes cadències d'uns quants Hz amb una precisió de dècimes de centímetre. [\[3\]](#)

En algunes aplicacions industrials també és necessari que la base mòbil del Robot Delta pugui rotar respecte l'eix perpendicular al terra. Llavors per aconseguir el 4t grau de llibertat s'introdueix una cadena entre les dos bases.

Degut a que els robots delta es mouen a grans velocitats no podem fer ús dels PID en aquests casos. Llavors s'utilitzen controladors predictius per model discret (MPC)[\[10\]](#)(Figura: 2-18).

Aquests sistemes tenen la capacitat d'anticipar els esdeveniments futurs i prendre accions de control conseqüentment.

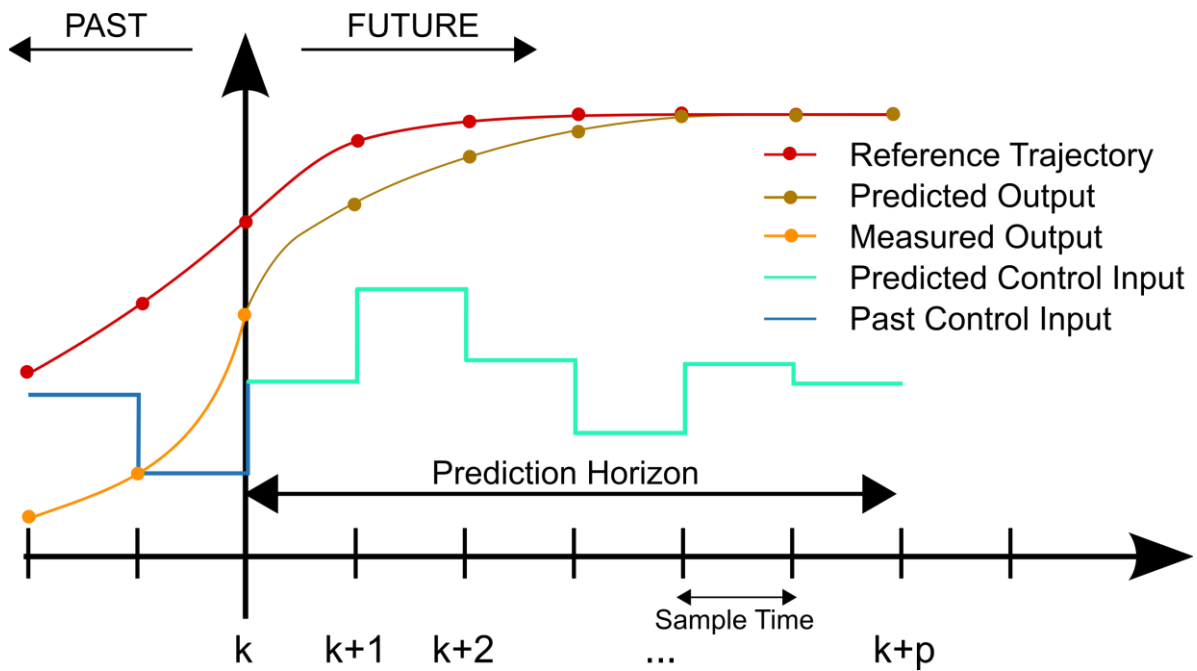


Figura: 2-18 MPC discret

Respecte a la posició desitjada del efector final (per exemple les coordenades XYZ per agafar una peça) necessitem determinar els angles de les articulacions de cada braç per configurar els motors. Per determinar aquests angles utilitzem la cinemàtica inversa.

Si coneixem els angles de les articulacions, podrem determinar la posició del efector final, llavors utilitzarem la cinemàtica directa.

3. DISSENY ESTRUCTURAL I MECÀNIC D'UN ROBOT DELTA

En aquest apartat farem una introducció de les diferents parts del robot Delta. Mostrarem les longituds més importants de cada peça per poder desenvolupar el programa de control del robot. Posteriorment en l'apartat 3.2 aprofundirem en cada component i mostrarem quins criteris mecànics hem utilitzat per dissenyar i dimensionar les peces.

3.1. COMPONENTS D'UN ROBOT DELTA

El robot delta consisteix en 2 plataformes: la superior amb 3 motors i la inferior amb un efector final. Les plataformes estan connectades a través de tres braços paral·lelograms. Els braços subjecten la plataforma inferior perquè sigui paral·lela a la superfície de treball com per exemple una cinta transportadora. Els motors estableixen la posició dels braços, per tant, la posició XYZ del efector final.

En la Figura: 3-1 es mostren els paràmetres geomètrics i l'eix del sistema de referencia

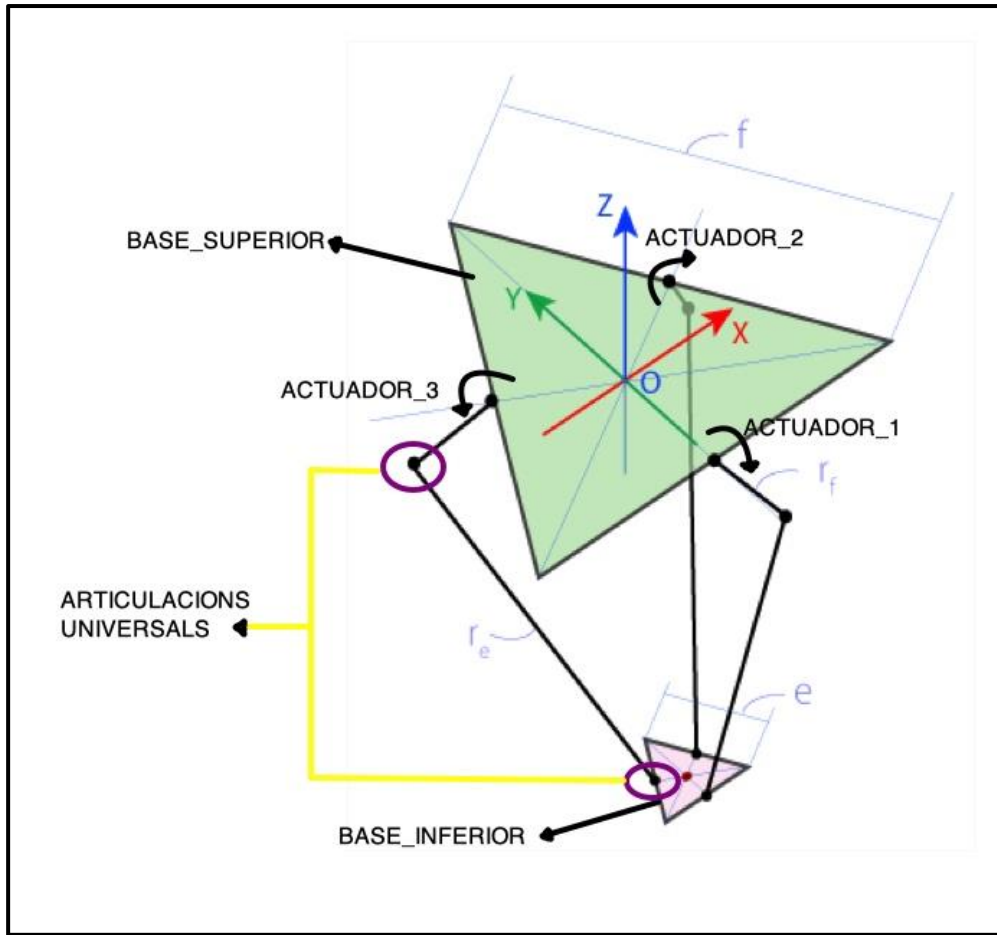


Figura: 3-1 Paràmetres geomètrics i sistema de referència.

El punt vermell de la base inferior (Figura: 3-1) (X,Y,Z) és la posició del efector final i és la que farem servir en les cinemàtiques. L'origen del sistema de referència serà el centre del triangle fix (gran). La coordenada Z del efector final serà sempre negativa.

Les dimensions dels nostres components més importants seran les següents:

- **Base superior** és com un triangle amb els costats arrodonits. Si allarguem els costats i els fem intersecar obtenim els vèrtexs d'un triangle equilàter. Tindrà un costat f de 207.63 mm, la peça es mostra a la (Figura: 3-3).
- **Base inferior** (Figura: 3-4) té una forma triangular amb una longitud de 170 mm.
- **Braç superior** (Figura: 3-5). Aquest braç uneix la base superior amb l'articulació universal superior. Llavors la unió del braç superior amb la base superior es fa

mitjançant una articulació rotacional. Així que hem utilitzat 2 longituds en el braç superior:

- Longitud del braç superior del programa (Figura: 3-5) → Hem calculat la distància entre l'eix del servomotor i l'eix de l'articulació universal.
 - Longitud del braç superior pel disseny mecànic (Figura: 3-6) → Distància entre la base del braç i l'eix del servomotor.
- **Braç inferior** (Figura: 3-7). Uneix el braç superior i la base inferior. Té una longitud de 200mm.

En la figura (Figura: 3-2) mostrem gràficament els components més importants del Delta que hem dissenyat en el projecte.

En la Taula 3-1 mostrem un resum de les dimensions més importants de cada component. Les variables utilitzades són les que hi ha en la Figura: 3-1.

Taula 3-1 Longituds bàsiques

Variable	Descripció	Figura	Longitud (mm)
f	Costat triangle fix (gran)	Figura: 3-3	207
e	Costat triangle final efector mòbil. (petit)	Figura: 3-4	170
r_f	Longitud del braç superior	Figura: 3-5	173
r_e	Longitud del braç inferior	Figura: 3-7	200

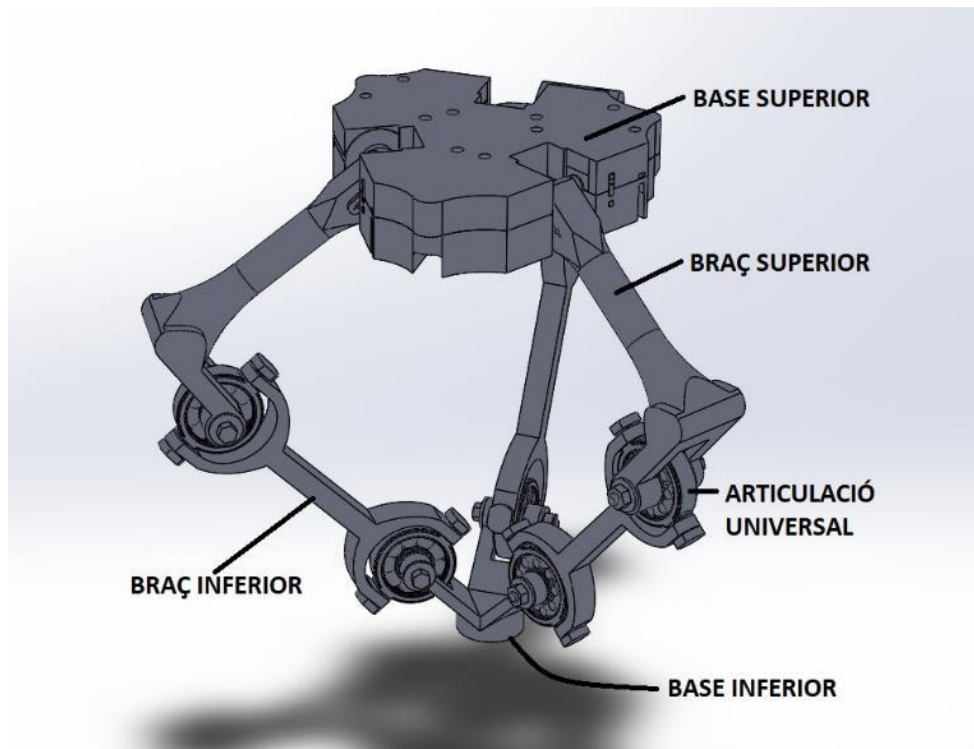


Figura: 3-2 Components bàsics del robot construït.

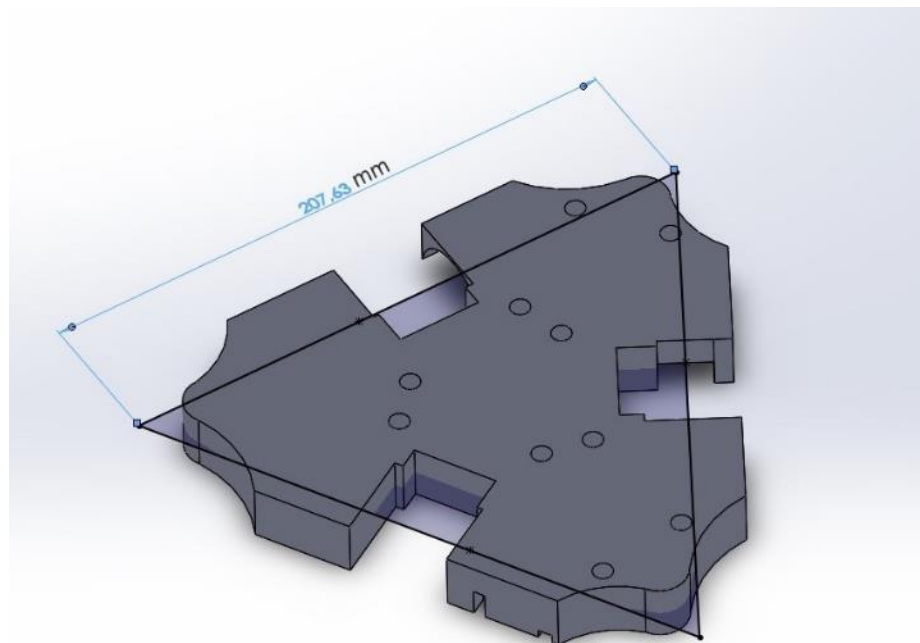


Figura: 3-3 Base superior.

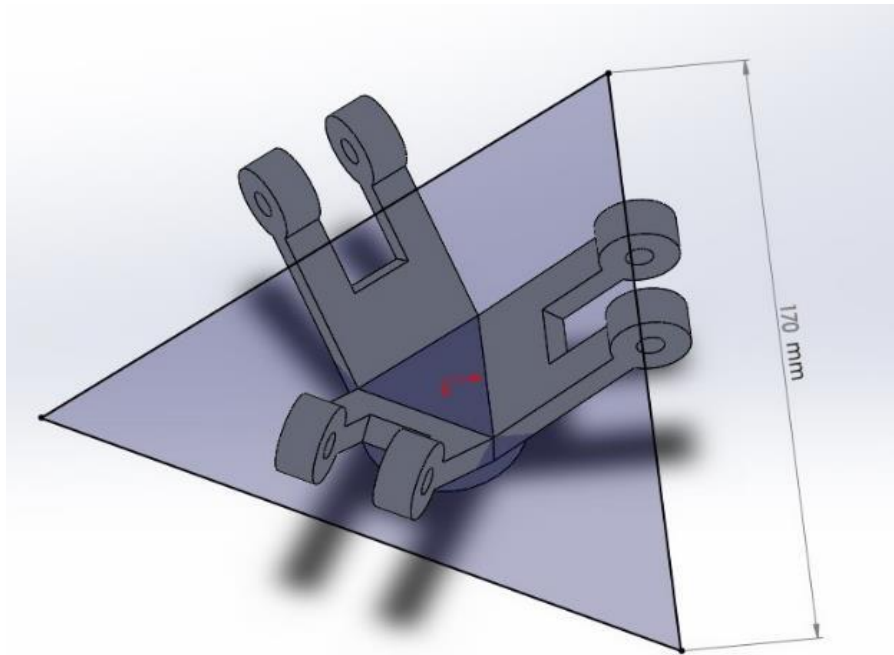


Figura: 3-4 Base inferior.

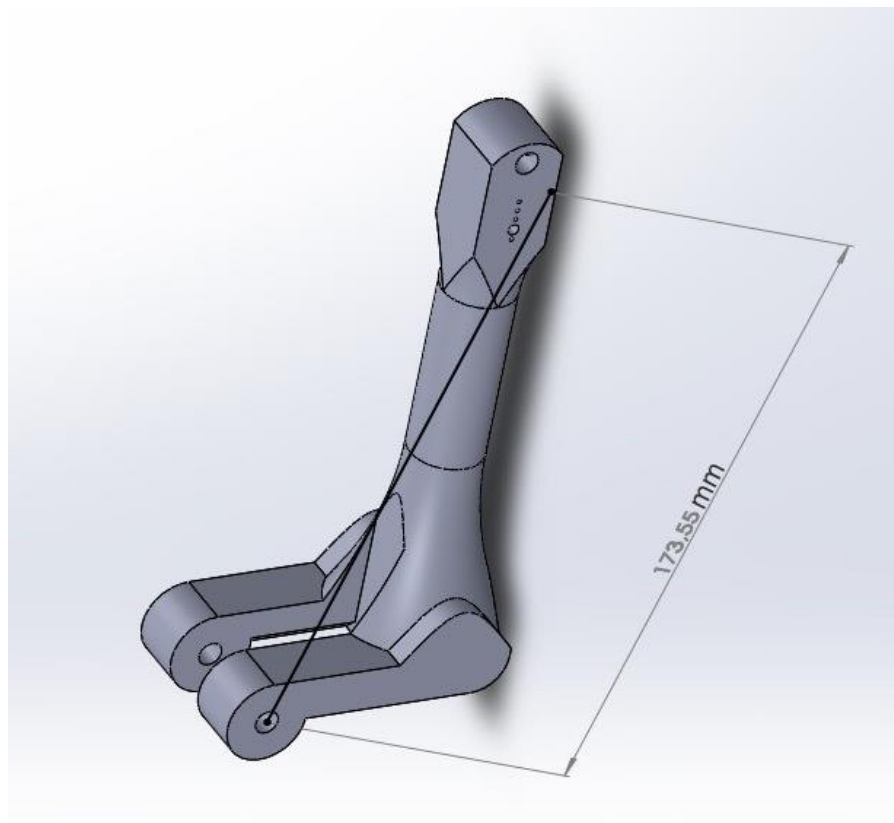


Figura: 3-5 Longitud braç superior del programa.

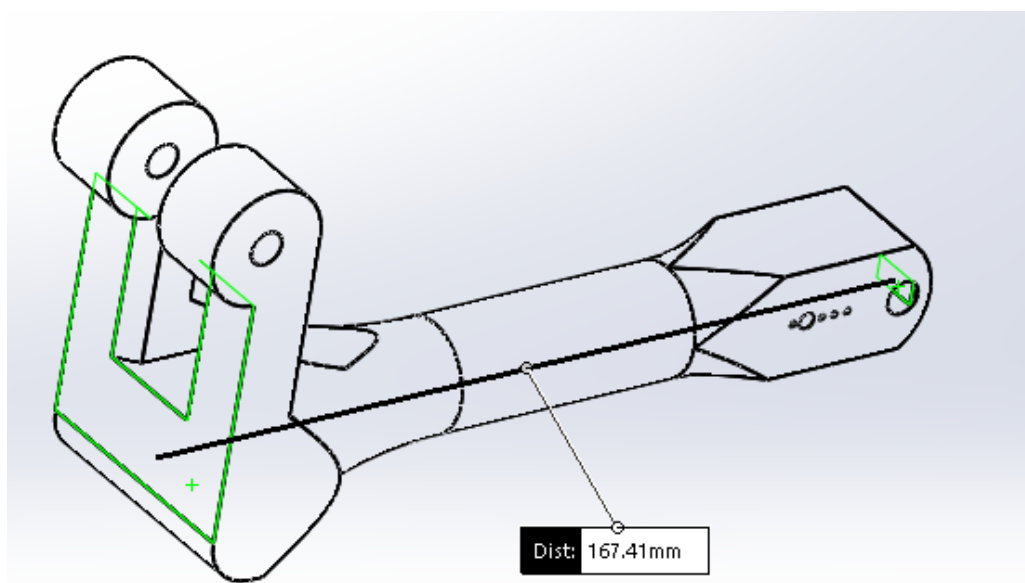


Figura: 3-6 Longitud braç superior disseny mecànic.

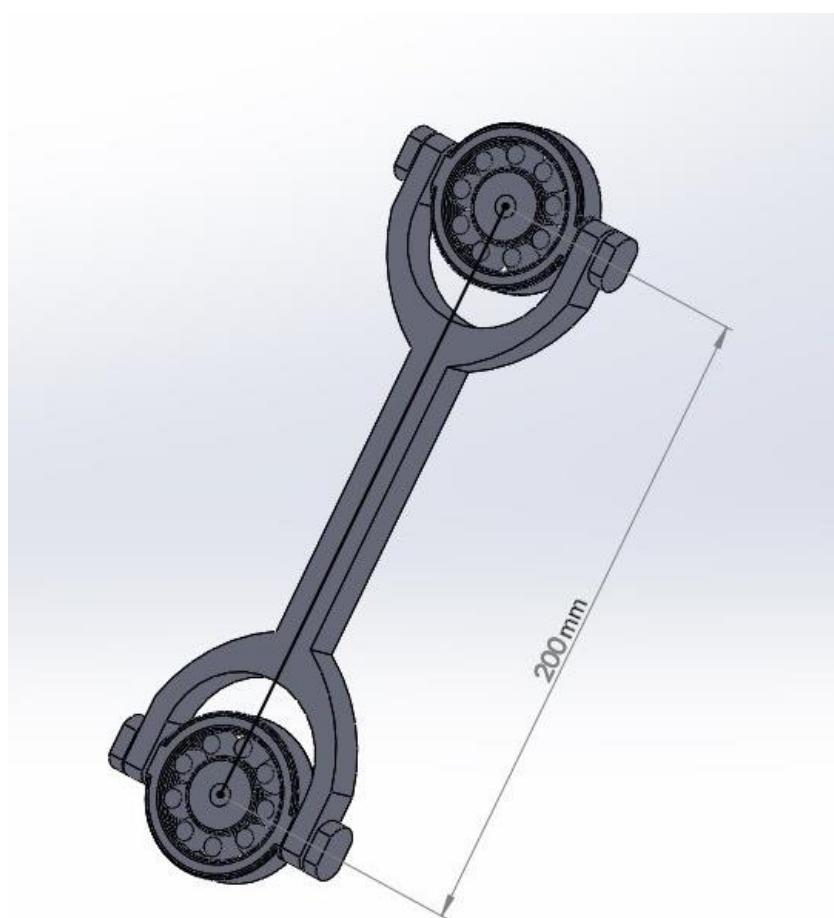


Figura: 3-7 Braç inferior

3.2. PROGRAMA DE DISSENY ASSISTIT UTILITZAT

El programa utilitzat és SOLIDWORKS, un software de disseny CAD 3D (disseny assistit per computador) utilitzat en el modelatge de peces, assemblatges 3D i en plànols de peces en 2D. El software permet cobrir els aspectes implicats en el procés de desenvolupament del producte [\[20\]](#).

SOLIDWORKS és un dels programes més rellevants en el camp de l'enginyeria, no només el mecànic.

Els avantatges principals són els següents [\[21\]](#):

- Fàcil d'aprendre.
- Es pot fer un anàlisi de moviment complex.
- Es pot obtenir una representació bastant realista.
- Es poden dissenyar superfícies complexes i podem elaborar els seus motlles.
- Es pot fer una estimació dels costos i la durabilitat del producte.
- Els dissenys i models arriben més de pressa al mercat.
- El programa detecta els errors de manera més primerenca
- Es poden realitzar canvis en els dissenys més ràpidament.
- És utilitzat internacionalment per milions d'empreses.
- Permet fer simulacions mentre dissenyem les peces.
- Permet millorar la productivitat (procés de fabricació) i qualitat del producte.
- Millora el treball en equip ja que les dades son més accessibles.
- Els clients, dissenyadors, proveïdors i enginyers poden treballar junts de manera més eficient.
- Elevada formació online.

Els inconvenients:

- Preu molt elevat. Ho solucionem adquirint la versió educativa
- Mala portabilitat entre les diferents plataformes CAD.

El procés que hem seguit ha sigut el següent:

Primer de tot hem dissenyat totes les peces. Després hem fet els assemblatges petits d'aquells conjunts de components repetitius. Acabat de fer aquests petits assemblatges hem fet assemblatges més grans. Ulteriorment hem creat un assemblatge final on hi ha tots els altres subassemblatges. Finalment hem fet els plànols de cada peça que es poden veure en l'ANNEX I.

Les peces de cada subassemblatge del projecte apareixen en la Taula 3-2

Taula 3-2 Peces assemblatges

(Assemblatge total)	1 unitats
(Cargols, femelles, arandeles)	174 unitats
(Assemblatge estructura)	1 unitats
(Columna inferior)	3 unitats
(Columna mitjana)	3 unitats
(Columna superior)	3 unitats
(Suport perímetre)	3 unitats
(Suport base central)	6 unitats
(Suport horitzontal)	3 unitats
(Assemblatge 3 braços)	1 unitats
(Assemblatge braç inferior + superior)	3 unitats
(Braç superior)	1 unitats
(Assemblatge braç inferior)	1 unitats
(Braç inferior)	1 unitats
(Coixinet esfera)	2 unitats
(Base inferior)	1 unitats
(Base superior)	1 unitats
(Encoders)	3 unitats
(Servomotors)	3 unitats

Els tipus d'arxius o extensions dels nostres documents creats amb SOLIDWORKS es mostren en la Taula 3-3.

Taula 3-3 Extensions documents Solidworks

Tipus de document	Extensió
Peça	SLDPRT
Assemblatge	SLDASM
Plànol	SLDDRW

3.3. COMPONENTS MECÀNICS

Per entendre correctament quins són els components del Delta s'aconsella mirar les figures del ANNEX I. En aquest apartat explicarem el disseny mecànic de les peces més significatives. En la Taula 3-4 podem observar tots els tipus de peces del projecte i la quantitat total de 214 peces.

Taula 3-4 Peces projecte

N.º D'ELEMENT	NOM DE PEÇA	QUANTITAT
1	Base inferior	1
2	Base superior	1
3	Braç inferior	3
4	Braç superior	3
5	Suport horitzontal	3
6	Tapa base superior	1
7	Columna superior	3
8	Columna mitjana	3
9	Columna inferior	3
10	Suport perímetre	3
11	Suport base central	6
12	Base central	1
13	Coixinet	3
14	Arandela petita	36
15	Arandela gran	33
16	Femella petita	30
17	Femella gran	18
18	Cargol base superior	12
19	Cargol base inferior	3
20	Cargol coixinet	3
21	Cargol columna curt	9
22	Cargol columna llarg	18
23	Cargol perímetre base	12
24	Servomotor	3
25	Encoder	3

TOTAL PECES	214
--------------------	------------

3.3.1. BASE SUPERIOR

La base superior és l'element més important del projecte ja que sustenta els servomotors i els braços del robot.

El pitjor cas possible seria que aquesta base tingués una flexió, això faria que l'efector final es desplaçés en una posició errònia.

Utilitzarem l'*equació de rigidesa flexional de plaques* de Love-Kirchoff [\[14\]](#)(Equació 3-1) per obtenir l'espessor de la base superior a una rigidesa donada.

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \nu^2)}$$

Equació 3-1

A on:

$D \rightarrow$ És la rigidesa en N/m .

$E \rightarrow$ La constant elàstica del Mòdul de Young que pel material PLA és de 1280 MPa [\[15\]](#)

$\nu \rightarrow$ És el coeficient de Poisson que pel material PLA és de 0.36 [\[15\]](#)

$h \rightarrow$ És l'espessor de la placa en m

També utilitzarem una altra expressió de la rigidesa (Equació 3-2)[\[14\]](#).

$$D = \frac{F}{d}$$

Equació 3-2

A on:

$F \rightarrow$ És la força aplicada, la càrrega total que haurà de suportar la base superior i es pot calcular fent:

$$F = (\text{massa efector} + \text{massa robot}) \text{kg} \cdot g(\text{m/s}^2)$$

$$= (0.225 + 1) \text{kg} \cdot (9.81) \text{ m/s}^2 = 12\text{N}$$

$d \rightarrow$ Deformació longitudinal de 0.005(m), valor que hem atorgat com una desviació màxima.

Igualem l' Equació 3-1 i l' (Equació 3-4):

Equació 3-2. Llavors aïllem l'espessor obtingut

$$\frac{F}{d} = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \nu^2)}$$

Equació 3-3

$$h = \sqrt[3]{\frac{F \cdot 12(1 - \nu^2)}{d \cdot E}}$$

Equació 3-4

Al substituir per els valors s'obté que l'espessor mínim ha de ser de:

$$h_s = 0.026\text{m} = 26\text{mm}$$

La nostra base (Figura: 3-8) tindrà un gruix de 4,7 cm ja que el seu interior conté els servomotors i els encoders tenen una alçada superior als 2.6cm.

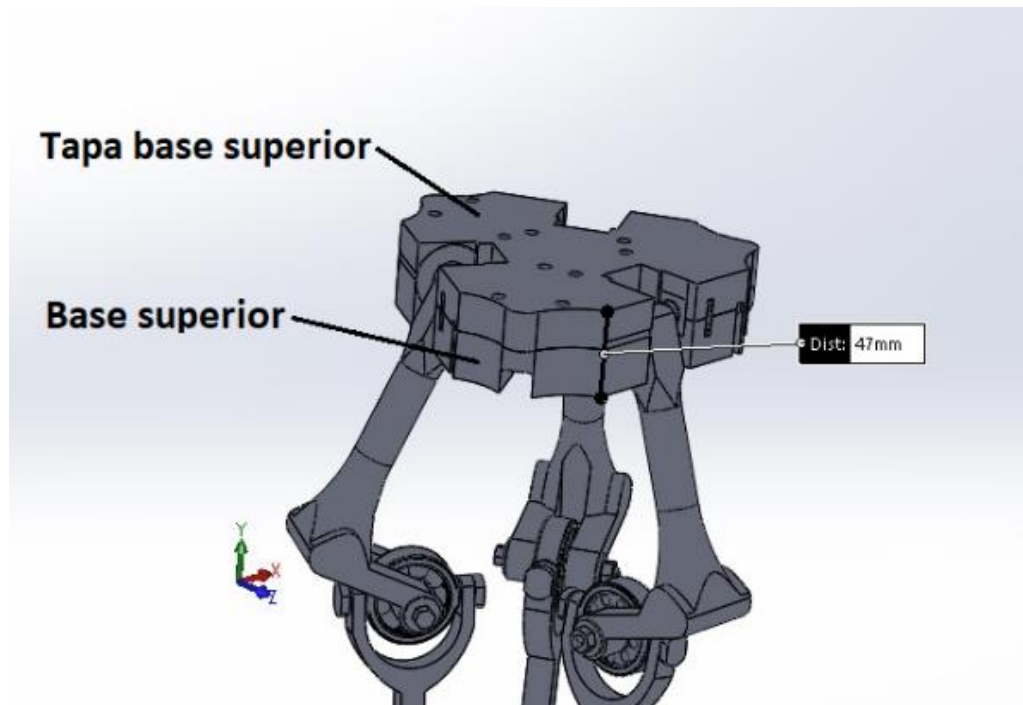


Figura: 3-8 Gruix base superior

En la Figura: 3-8 tenim el gruix de la base fixa que està formada per 2 peces: Una base superior en que descansen els servomotors i els encoders; Una tapa de la base superior que embolcalla els servomotors i els encoders. És un mètode perquè els actuadors i els sensors es mantinguin fermes en l'estructura i no hi hagi vibracions en els seus eixos.

Farem una estimació de la massa de la base superior.

$$M = \rho \cdot V$$

Equació 3-5

A on:

$M \rightarrow$ És la massa de la base en Kg

$\rho \rightarrow$ Densitat del PLA que és de $1252 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$

$h_s =$ Espessor base superior $\rightarrow 0.047(\text{m})$

$V_s \rightarrow$ Volum base superior $\rightarrow \frac{(Base \cdot altura)(triangle.)}{2} \cdot h_s = \frac{0.207 \cdot 0.179}{2} \cdot 0,047 = 870 \cdot 10^{-6} (m^3)$

$$M_s = \frac{1252 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 870}{10^6} = 1.1 \text{ (kg)}$$

La massa M_s és per una peça amb un *infill* (farciment) del 100%. En el nostre cas la peça té un 30% de *infill*. A més conté els buits per poder introduir els encoders i els servomotors (Figura: 3-9 Base superior amb buits).

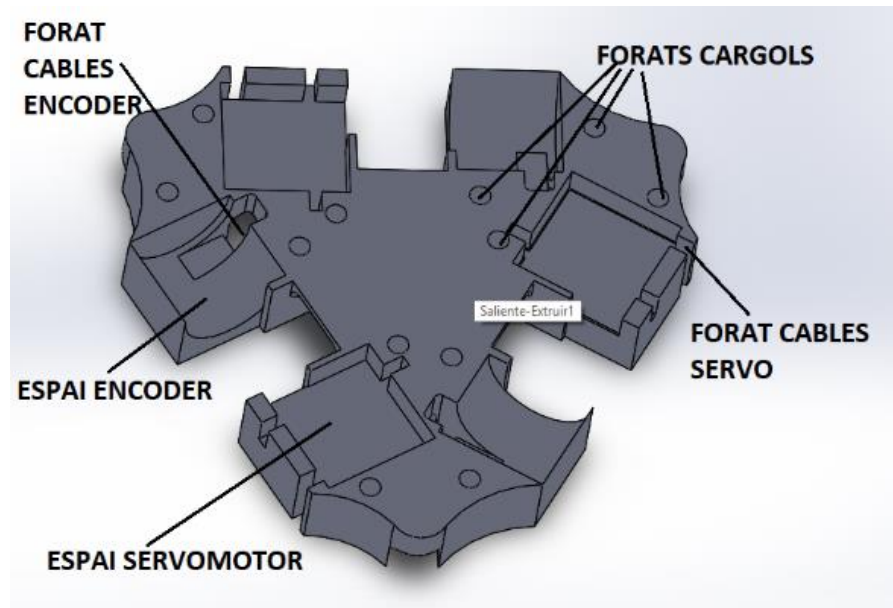


Figura: 3-9 Base superior amb buits

3.3.2. BASE INFERIOR

Per calcular el gruix adequat de la base inferior utilitzarem la mateixa Equació 3-4 que la base superior.

En aquest cas considerem que la força exercida sobre la base inferior serà de 6 N. Aplicant les formules presentades anteriorment s'obté que el gruix de la peça ha de ser de $h_i = 21 \text{ mm}$.

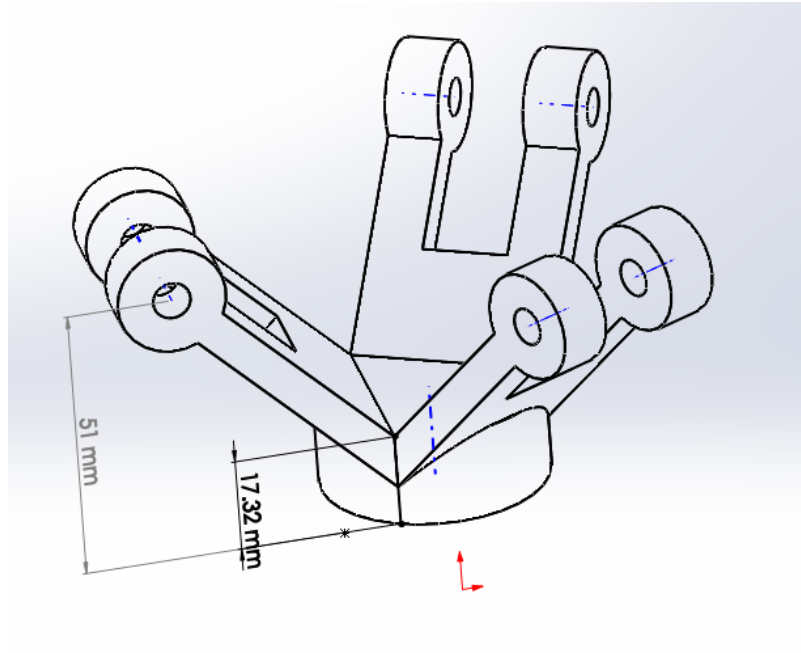


Figura: 3-10 Base inferior

El gruix de la nostra base mòbil (17.3mm) (Figura: 3-10) és inferior a h_i . No obstant això el nostre Delta no té cap instrument com a efector final i això no ens afectarà.

A més hem afegit els forats dels eixos de les articulacions universals. La base en forma de cercle està baixada una distància de 51mm en l'eix Z respecte els eixos horitzontals de les articulacions universals. Quan obtinguem la coordenada Z del efector final en la cinemàtica directa haurem de sumar una longitud de -51mm ja que sinó la posició correspondria a la Z dels eixos horitzontals de les articulacions. En la cinemàtica inversa haurem de sumar -51mm a la coordenada Z.

També calcularem la massa de la base inferior:

$$M_i = \rho_i \cdot V_i$$

Equació 3-6

A on:

$$\rho_i \rightarrow \text{Densitat del PLA de } 1252 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$V_i = A_i \cdot h_i$$

Equació 3-7

$$A_i = \text{Àrea circumferència} \rightarrow r^2 \cdot \pi = (0.02)^2 \cdot \pi = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$H_i = \text{Espessor base inferior} \rightarrow 0.017 \text{ (m)}$$

$$V_i = A_i \cdot h_i = 21.25 \cdot 10^{-6} (m^3)$$

$$M_i = 1252 \cdot (21.25 \cdot 10^{-6}) = \mathbf{0.026 (kg)}$$

3.3.3. BRAÇOS SUPERIORS

Dissenyarem els 3 braços superiors de tal manera que tinguin deflexions mínimes.

A partir de l'equació de deflexió en una biga de doble suport i carga central determinarem el diàmetre del nostre braç superior. A l'Equació 3-16 li assignarem una deflexió màxima i aïllarem el diàmetre.

Obtindrem l'Equació 3-16 pel mètode de doble integració.

En la Figura: 3-11 es mostren les gràfiques de força tallant, moment de flexió i flexió d'una biga de 2 suports i una càrrega central [16].

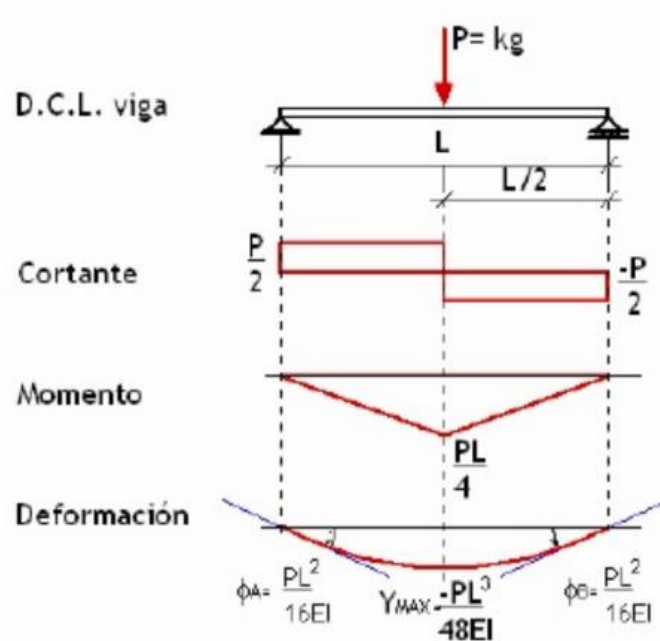


Figura: 3-11 Força tallant, moment de flexió i flexió d'una biga

Sabem que l'equació del moment de flexió és:

$$M(x) = E \cdot I \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{P}{2} \cdot x.$$

Equació 3-8

A on:

$L \rightarrow$ Longitud de la biga

$E \cdot I \rightarrow$ Rigidesa a la flexió

$y \rightarrow$ Deformació vertical a la flexió

Integrarem 2 vegades l'equació del moment de flexió:

En el cas de la integració comencem a partir de la funció del moment de flexió (Taula 3-5) ja que és el punt de partida en els càlculs de la doble integral [\[17\]](#).

$$1^a \rightarrow E \cdot I \frac{dy}{dx} = \frac{Px^2}{4} + C_1 = \theta(x)$$

Equació 3-9

\rightarrow Funció del angle de gir [\[17\]](#)

$$2^a \rightarrow E \cdot I \cdot y = \frac{Px^3}{12} + C_1 \cdot x + C_2 = f(x)$$

Equació 3-10

\rightarrow Funció de deformació de biga

Al centre de la biga l'angle d'orientació (θ) (Figura: 3-12) és 0 [\[16\]](#).

És a dir que $\frac{dy}{dx} = 0$

La x al centre de la biga és $\frac{L}{2}$

$$0 = \frac{P}{4} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^2 + C_1$$

Equació 3-11

Aïllem C_1

$$C_1 = -\frac{P \cdot L^2}{16} \quad \text{Equació 3-12}$$

$$C_1 = -\frac{P \cdot L^2}{16}$$

Obtindrem que la funció del angle de gir serà:

$$E \cdot I \frac{dy}{dx} = \frac{Px^2}{4} - \frac{PL^2}{16} \quad \text{Equació 3-13}$$

En $x=0$ el suport fa que en aquest punt no hi hagi flexió, per tant $y=0$. Si substituïm els valors en la funció de deformació de la biga obtindrem:

$$E \cdot I \cdot 0 = \frac{P \cdot 0^3}{12} + C_1 \cdot 0 + C_2 \quad \text{Equació 3-14}$$

Aïllem C_2

$$C_2 = 0$$

L'equació de deformació serà la següent:

$$EIy = \frac{Px^3}{12} - \frac{PL^2x}{16} \quad \text{Equació 3-15}$$

Si substituïm $x = \frac{L}{2}$ (punt de màxima deformació) a l'Equació 3-16 i aïllem y obtindrem la màxima deformació de la biga (Equació 3-16) [\[16\]](#).

$$Y_{max} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad \text{Equació 3-16}$$

En la Taula 3-5 es mostra el quadre on hi ha les funcions obtingudes si derivem (sentit descendent) i si integrem (sentit ascendent).

Taula 3-5 Integració i derivades d'equacions.

$E \cdot I \cdot y = f(x) \rightarrow$	Funció de deformació de la biga respecte x
\downarrow 1ª derivada.	\uparrow 2ª integral
$E \cdot I \frac{dy}{dx} = \theta(x) \rightarrow$	Funció d'angle de gir (Figura: 3-12)
\downarrow 2ª derivada	\uparrow 1ª integral
$E \cdot I \frac{d^2y}{dx^2} = M(x) \rightarrow$	Funció del moment de flexió
\downarrow 3ª derivada	
$E \cdot I \frac{d^3y}{dx^3} = V(x) \rightarrow$	Funció de la força tallant

En la Taula 3-5 apareix la funció d'angle de gir. Per calcular-la hem utilitzat l'eix neutre (Figura: 3-12) que és una línia que passa pel centre de masses de la biga. Quan s'aplica una càrrega aquest eix (també anomenat línia elàstica) es deforma. L'angle de gir és l'angle entre l'eix deformat i l'eix en la posició inicial [\[18\]](#).

En la Figura: 3-12 es mostra la variació de l'angle de gir.

Hem obtingut un diàmetre de 19 mm pel nostre braç superior. El nostre braç tindrà un diàmetre de 22 mm ja que és el que hem definit al programa.

3.3.4. BRAÇOS INFERIORS

Per calcular el diàmetre o gruix dels nostres braços inferiors hem utilitzat la mateixa equació de deformació màxima (Equació 3-16) emprada pels braços superiors.

La diferència amb els braços superiors és que la secció serà quadrada, ja que en una sola impressió d'un braç també afegirem les 2 articulacions universals i la peça ha d'estar ben aposentada a la base d'impressió. En la Figura: 3-13 es mostra el Braç inferior amb les 2 articulacions adjuntes descansant sobre la base d'impressió.

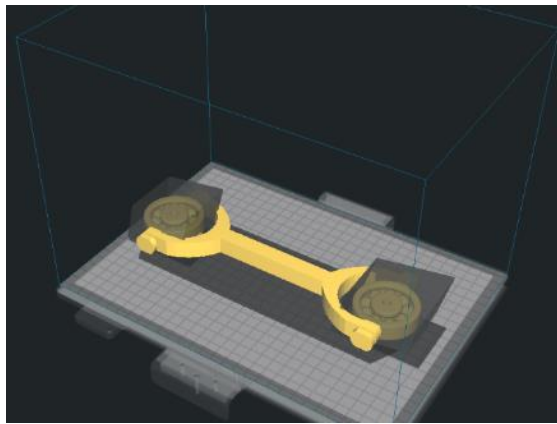


Figura: 3-13 Braç inferior al programa d'impressió 3D.

$$Y_{max} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad [16] \quad \text{Equació 3-16}$$

A on:

Y_{max} → És la deformació màxima i li atorguem un valor de 0.0001 (m)

E → Mòdul de Young del PLA que és 1280 (MPa)

P → Força aplicada al centre de la biga de 6N

L → Longitud de la biga o braç (Figura: 3-7) de 0.2 (m)

C → Costat de la secció quadrada de la biga o braç

$I \rightarrow$ Moment d'inèrcia d'una secció circular $\rightarrow \frac{c^4}{12} (kg \cdot m^2)$

$n \rightarrow$ Aplicarem un factor de càrrega de 1.5 per assegurar-nos que la flexió de la base és mínima.

$$0.0001 = 1.5 \cdot \frac{6 \cdot (0.2)^3}{48 \cdot (1280 \cdot 10^6) \left(\frac{c^4}{12} \right)} \rightarrow$$

$$0.0001 = \frac{14 \cdot 10^{-12}}{c^4} \rightarrow c^4 = 140 \cdot 10^{-9} \rightarrow c = \sqrt[4]{(140 \cdot 10^{-9})}$$

= 0,019 m

El costat de la secció quadrada del nostre braç teòric és de 19mm. Per tal de reduir la quantitat de material a imprimir el costat real serà de 15mm. Aquesta petita variació provocarà una major deformació del braç però serà menyspreable.

3.3.5. ARTICULACIONS BRAÇOS

Les articulacions que hem utilitzat són del tipus universals. Tenen 2 graus de llibertat. En la Figura: 3-14 es mostren les 2 rotacions en els eixos de coordenades.

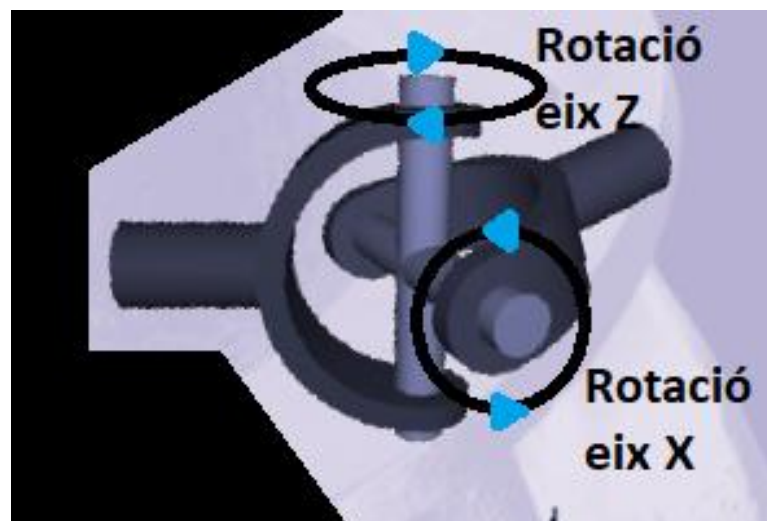


Figura: 3-14 Rotacions articulació universal.

Per fer la rotació X hem incorporat un coixinet de boles [2] que es mostra en la Figura: 3-15 on també hi ha les 2 rotacions del nostre coixinet. El braç inferior girarà en la part exterior del coixinet, respecte l'eix Z. Per tal que el braç no surti del eix hem afegit uns topalls als extrems del eix Z. .

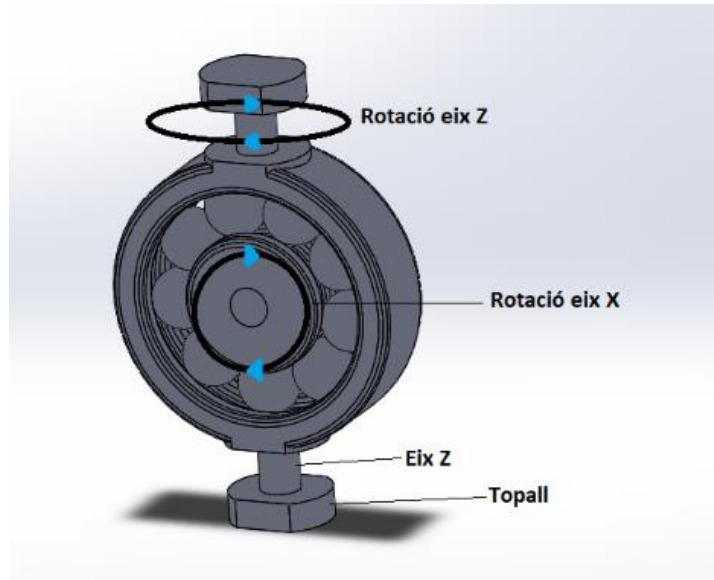


Figura: 3-15 Coixinet de boles

Les avantatges de les **articulacions universals** són:

- Poden transmetre el moviment entre dos eixos que tenen un angle major a 90° entre ells.
- Tenen una vida útil elevada
- Necessiten un mínim manteniment
- Poden funcionar correctament amb poca lubricació

En la Figura: 3-16 es mostren les 2 rotacions en el conjunt braç superior – coixinet - braç inferior.

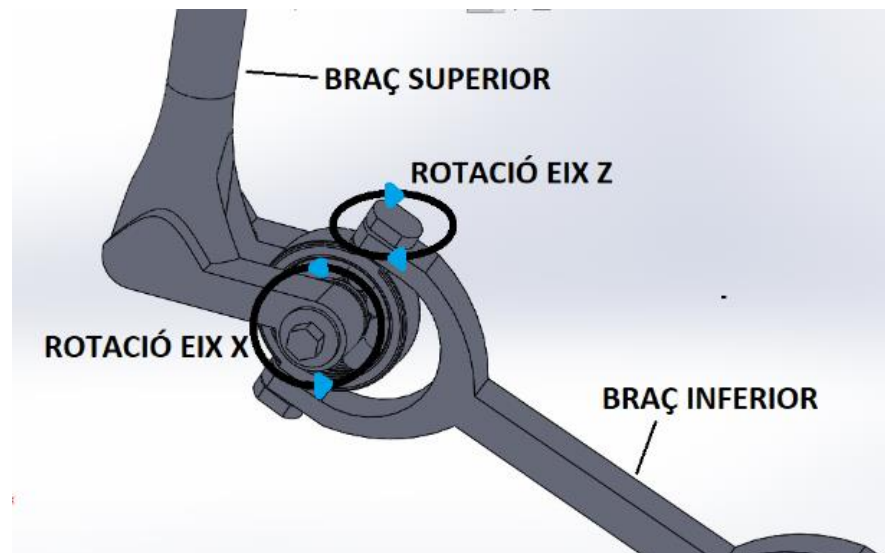


Figura: 3-16 Rotacions braç superior-inferior.

Per tal de poder imprimir correctament els coixinets hem afegit uns petits suports a la base de cada petita esfera per tal de que estiguin immòbils durant la impressió. En la Figura: 3-17 es mostren els suports cònics de cada esfera del coixinet.

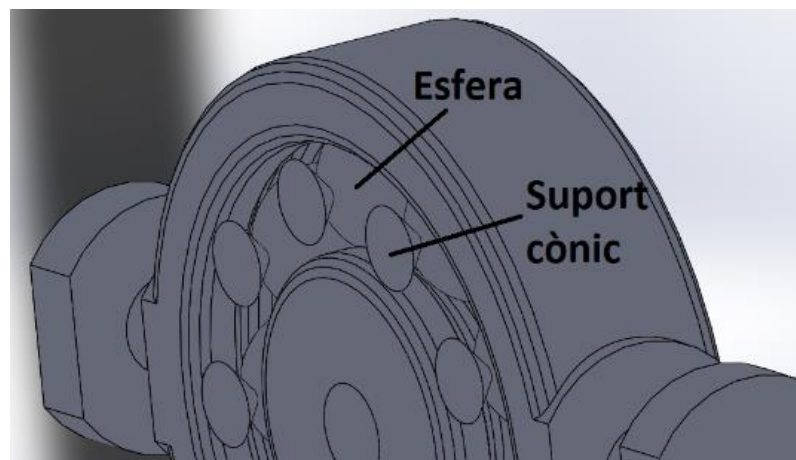


Figura: 3-17 Suports cònics esferes.

3.3.6. CARGOLS, FEMELLES I ARANDELES

Per fer l'assemblatge de tots els components necessitem uns cargols que uneixin tota l'estructura. Com que part del treball consisteix en superar els reptes de la impressió 3D els cargols del projecte també estaran impresos en 3D.

La diferència entre els cargols convencionals i els impresos són un major volum i un pas de rosca elevat.

A continuació es mostren els paràmetres de tots els cargols del nostre projecte. L'únic que variarà serà la longitud de la rosca.

En la Figura: 3-18 es mostren els paràmetres de rosca mètrica [\[19\]](#)

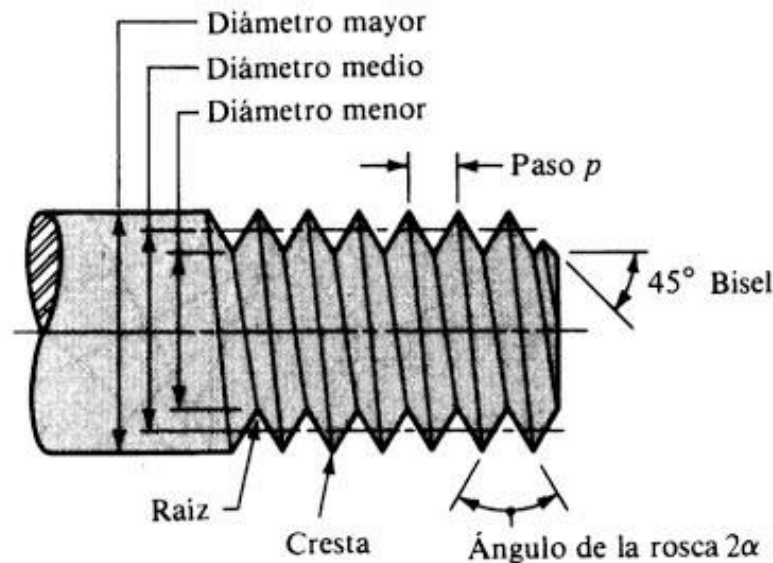


Figura: 3-18 Paràmetres rosca mètrica

- Tipus de rosca → Mètrica (Rosca triangular)
- Cap del cargol → Hexagonal
- Pas de rosca → 2mm
- Diàmetre major → 7mm
- Diàmetre mig → 5.27
- Diàmetre menor → 3.54mm
- Angle de rosca → 60°

Hem escollit el pas de rosca de 2 mm perquè la impressora té una resolució de capa de 0,2 mm. Les rosques amb passos molt petits surten molt distorsionades.

El cap del cargol és de tipus hexagonal ja que és el que s'aposenta millor a la base d'impressió i el més fàcil d'imprimir.

La nostra femella serà de tipus hexagonal ja sigui tan per la facilitat d'impressió com per la versatilitat d'eines per collar-la. Tindrà les mateixes característiques de rosca que el cargol

Els tipus de cargols es troben en la Figura: 3-19

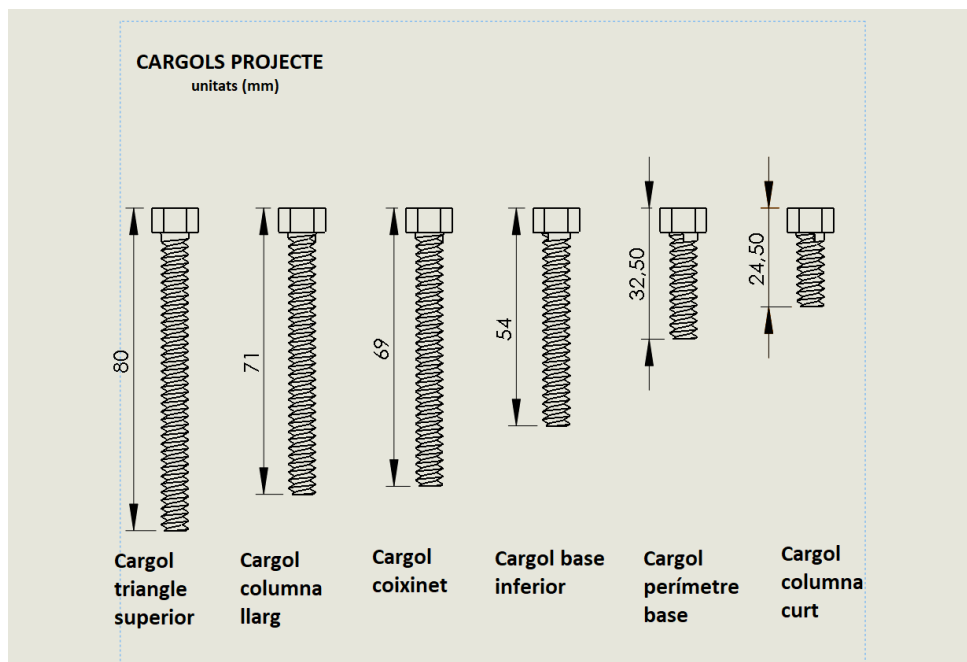


Figura: 3-19 Tipus de cargols del projecte

En la Figura: 3-20 podem veure els cargols, femelles, i arandeles impreses.

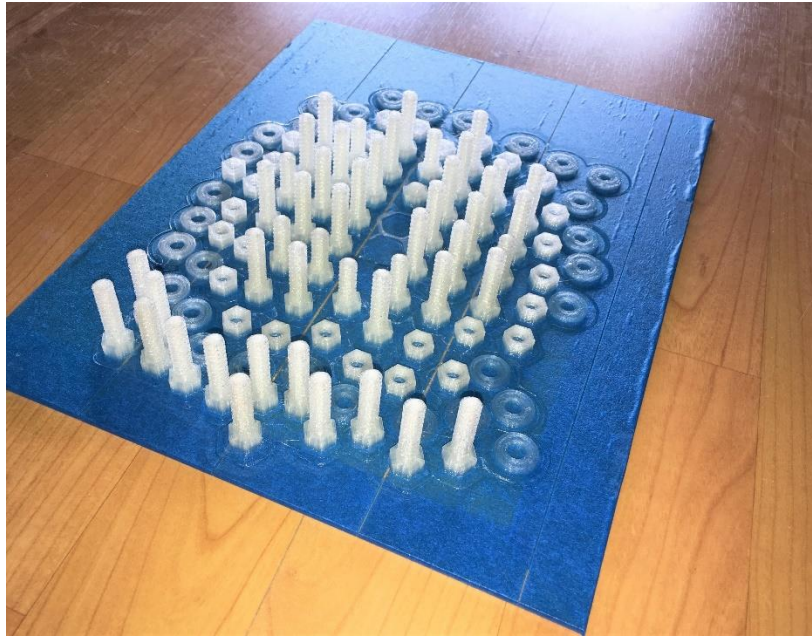


Figura: 3-20 Cargols sobre la base d'impressió.

3.3.7. ESTRUCTURA DEL ROBOT

La base superior del nostre robot és fixa. Llavors és necessari que hi hagi un suport que la sustenti a una alçada suficient perquè els braços tinguin mobilitat.

El disseny mecànic de l'estructura l'hem fet a través del programa CAD Solidworks. El programa té una aplicació de forces-deformacions que ens permet simular el comportament de l'estructura en funció de les càrregues aplicades. Nosaltres utilitzarem les tensions de Von Mises per veure les zones més afectades quan apliquem una càrrega en l'àrea on ha de reposar la base superior.

L'estructura es mostra en la Figura: 11-8 i compren de 3 columnes verticals i 3 bigues horitzontals on reposarà la base superior.

Les columnes són tubs de secció quadrada amb un gruix de 14mm. Degut al volum reduït de la nostra impressora 3D hem hagut de dividir cada columna en tres: la inferior, la mitjana i la superior.

Les bigues o suports horitzontals estan buides pel seu interior i tenen un embolcall de 8,5mm.

Per fer l'estudi de les tensions primerament tenim que dividir l'estructura en una malla de punts per avaluar el comportament en cada punt tal i com es mostra en la Figura: 3-21.

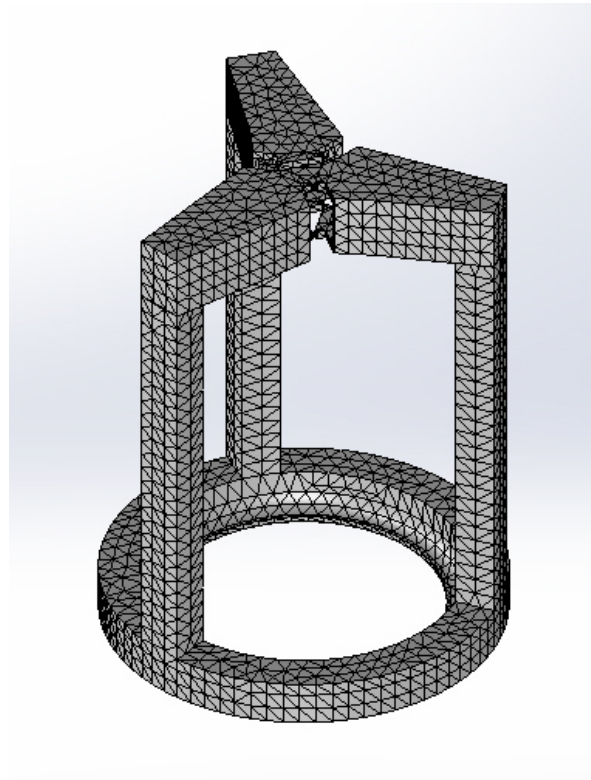


Figura: 3-21 Estructura de sustentació del Robot

La malla de la Figura: 3-21 té 14627 triangles i 29219 punts.

Per entendre la tensió de Von Mises hem de saber el concepte d'*Energia de Distorsió*. Aquesta energia és la necessària per deformar un cos quan se li aplica una força (Figura: 3-22). Si treballem amb materials poc dúctils, en la deformació hi haurà una ruptura, llavors si calculem les tensions aplicades en la deformació obtenim un indicador molt útil per fer simulacions de càrregues sobre estructures.

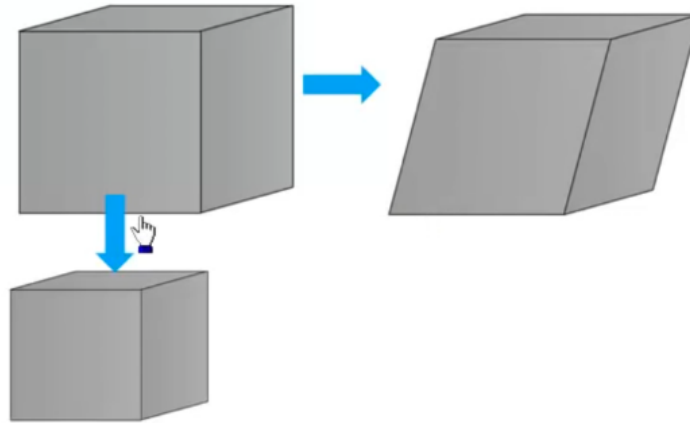


Figura: 3-22 Deformació d'un cub [22]

Nosaltres el que farem serà comparar la tensió de Von Mises (tensió de deformació mitjana en els eixos X,Y,Z) en cada punt de l'estructura amb la tensió en el límit de fluència del material σ_y (Figura: 3-23 Diagrama Esforç-Deformació[23]) obtinguda en l'assaig de tracció (Figura: 3-24). El límit de fluència és el punt on comença el fenomen de fluència que consisteix en un allargament de la proveta en l'assaig de tracció sense que varí la tensió aplicada. En aquest punt hi ha la transició entre les deformacions elàstiques i plàstiques.

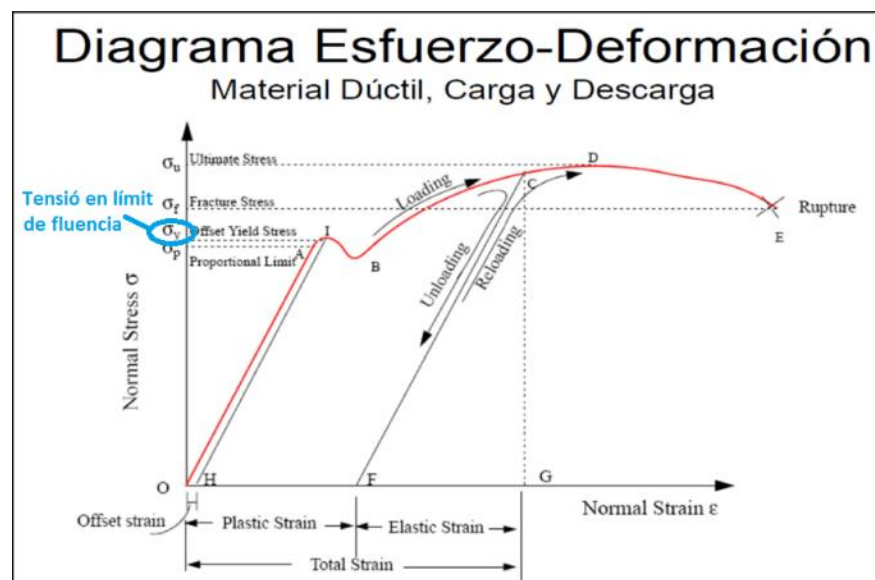


Figura: 3-23 Diagrama Esforç-Deformació[23]

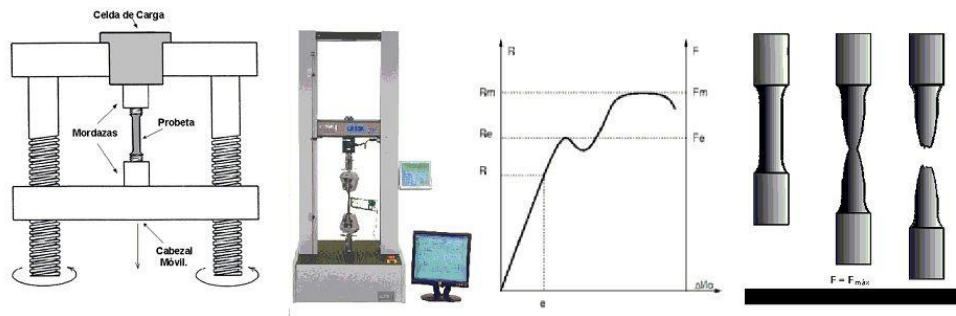


Figura: 3-24 Assaig de tracció [24]

La fórmula de la tensió de Von Misses és la següent:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2(\sigma_2 - \sigma_3)^2(\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad [25] \quad \text{Equació 3-17}$$

A on $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ són les tensions en els eixos XYZ en un punt concret. A més tenim σ_{VM} que és la tensió de Von Misses.

Si es compleix la condició $\sigma_{VM} \geq \sigma_Y$ hi haurà una ruptura en el punt analitzat de l'estructura.

En la Figura: 3-25 es mostra l'àrea blava de l'estructura on aplicarem la càrrega.

Cada superfície blava equival a 0.02m^2 ; La superfície total serà $0.02\text{ m}^2 \cdot 3 = 0.06\text{ m}^2$;
Aplicarem una càrrega equivalent a 1.3kg, és a dir de 12 N; Per obtenir la pressió fem

$$\frac{12\text{ N}}{0.06\text{ m}^2} = 200\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

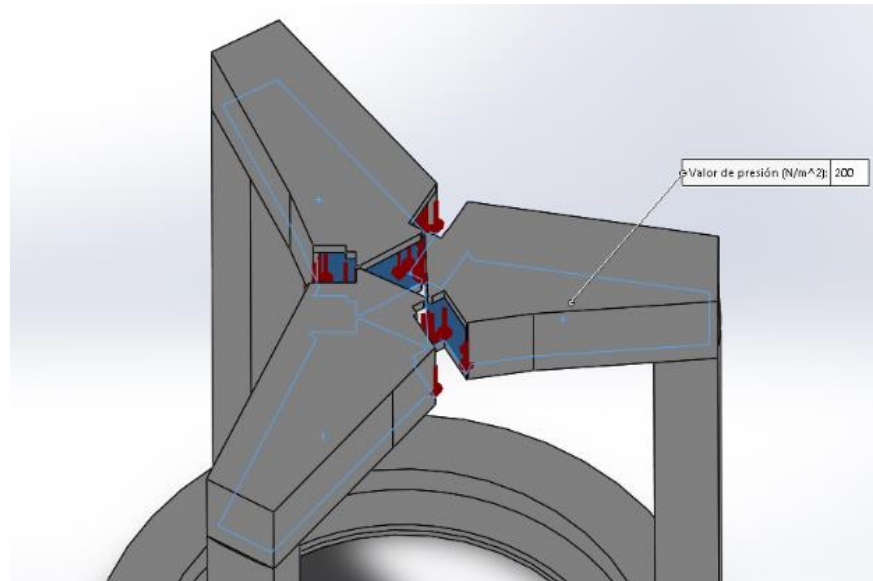


Figura: 3-25 Forces aplicades en l'estructura de sustentació.

En la Figura: 3-26 es mostra l'anàlisi de tensions de Von Mises. Les zones de color blau són aquelles on hi ha tensions de deformació baixes i les de color vermellós tensions elevades.

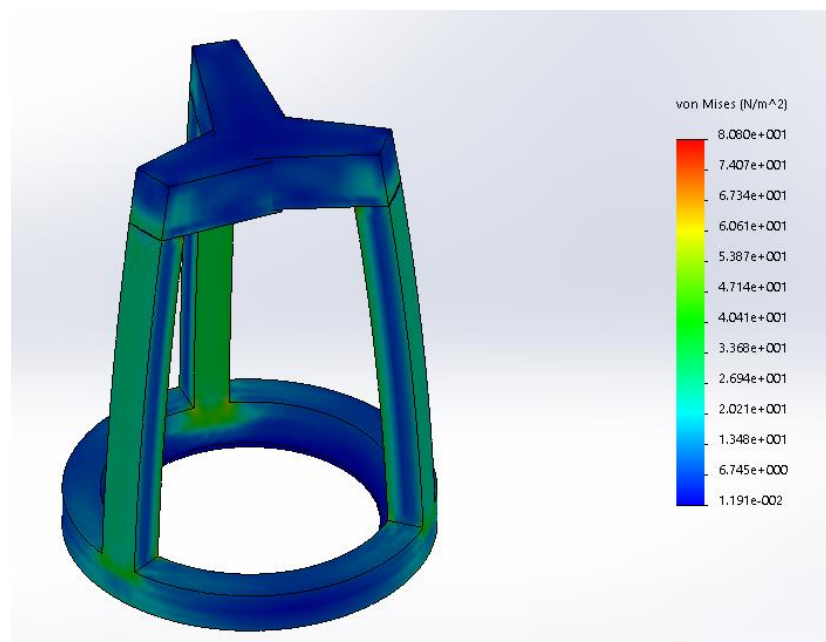


Figura: 3-26 Anàlisi de tensions de Von Mises.

El punt de màxima tensió serà de 80 N/mm^2 .

El punt de mínima tensió serà de 0.012 N/mm^2 .

La σ_y (tensió en el límit de fluència) del PLA és de $70\text{MPa} = 70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Llavors si $\sigma_{VM} \geq 70\text{MPa}$ voldrà dir que l'estructura es trencarà en un punt concret.

Amb les àrees blaves (20.2MPa) i verdes (53MPa) de la Figura: 3-26 no hi haurà problemes ja que són inferiors a 70MPa . En el cas que l'estructura tingui àrees vermelles (81MPa) i taronges (67MPa) l'estructura es podria trencar en qualsevol punt d'aquestes zones.

3.3.8. BASE CENTRAL

En la Figura: 11-8 dels annexos podem veure la base central. En el nostre projecte la finalitat d'aquesta peça és tapar la caixa de connexions i el transformador d'alimentació. A més ens servirà per comprovar les coordenades XY del efector final quan apliquem les funcions cinemàtiques.

Si volem elaborar la base central en una sola impressió no és possible ja que el volum d'impressió no és suficient. Llavors hem dividit la peça amb 11 rectangles de 150×225 mm tal i com es mostra en la Figura: 3-27

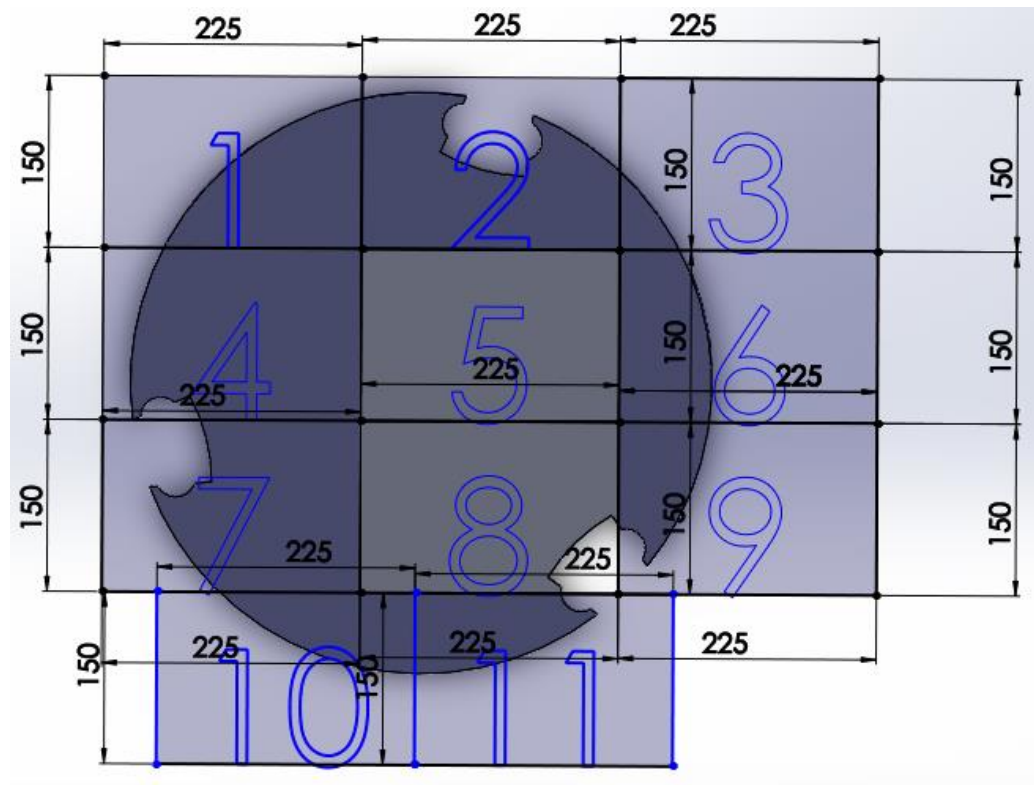


Figura: 3-27 Base inferior dividida

En la Figura: 3-28 podem veure les diferents parts de la base central impreses. Així mateix unirem aquestes parts amb cola per a plàstics.



Figura: 3-28 Parts base central

cercle gran i el cercle petit que forma el braç superior és el punt J_1 . En la Figura: 4-2 es mostra la intersecció entre la circumferència i l'esfera en el punt J_1 . També apareixen els paràmetres de la base inferior. El punt E_1 és on hi ha l'articulació universal del braç inferior i el punt E_1' representa el centre de l'esfera. $e/2 \cdot \tan(30)$ és la distància del punt E_0 al E_1 [11].

Hi ha un 2n punt d'encreuament que no tenim en compte ja que l'angle que forma el braç superior i l'inferior no és possible. Escollirem el punt d'intersecció que tingui la coordenada Y més petita [11].

A través del punt J_1 podem calcular l'angle de rotació θ_1 .

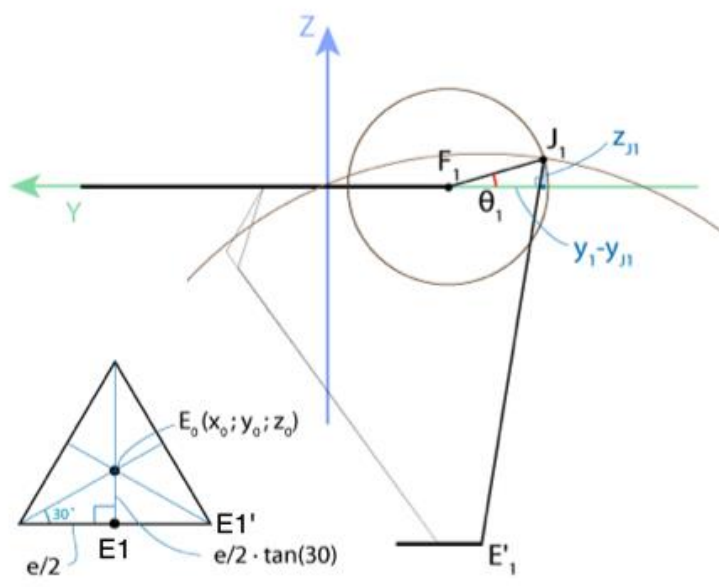


Figura: 4-2 Punt de tall J de les circumferències.

Les equacions que permeten realitzar el càlcul de la cinemàtica inversa s'han extret de [13].

$$E_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Centre base inferior}$$

$$L_B = E_0 E_1 = \frac{e}{2} \tan 30^\circ = \frac{e}{2\sqrt{3}} \quad \text{Equació 4-1}$$

$$L_A = OF_1 = \frac{f}{2} \tan 30^\circ = \frac{f}{2\sqrt{3}} \quad \text{Equació 4-2}$$

$$E_1 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 - L_B \\ z_0 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Articulació base inferior}$$

En la Figura: 4-2 es mostra la intersecció de les circumferències produïdes pel braç superior i inferior en el punt J. [\[11\]](#)

$$E'_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ y_0 - L_B \\ z_0 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Centre circumferència gran}$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ -L_A \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Centre circumferència petita}$$

$$E_1 E'_1 = \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$E'_1 J_1$ és una projecció ortogonal de $E_1 J_1$ al pla YZ , amb E'_1 com la projecció del punt E_1 .

$E_1 E'_1 J_1$ és un triangle rectangle.

$$(E_1 J_1)^2 = (E_1 E'_1)^2 + (E'_1 J_1)^2 \longrightarrow h^2 = c^2 + c^2 \quad \text{Equació 4-3}$$

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad \text{[12]} \quad \text{Equació 4-4}$$

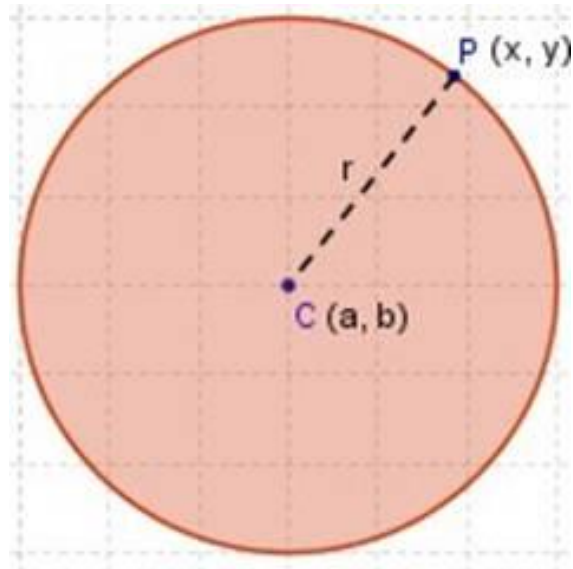


Figura: 4-3 Paràmetres equació circumferència.

En la Figura: 4-3 es mostren els paràmetres de l'equació de la circumferència.

Taula 4-1 Centre i radi de les circumferències

Circumferència	Centre			Radi	Punt centre
Petita	x	y	z	r_f	F_1
	0	$-L_A$	0		
Gran	0	$y_0 - L_B$	z_0	$E'_1 J_1$	E'_1

Taula 4-2 Equacions de les circumferències

Simplificació de l'equació	Circumferència gran	Circumferència petita
0	$(E'_1 J_1)^2 = (y_{J1} - y_{E'_1})^2 + (z_{J1} - z_{E'_1})^2$	$(y_{J1} - y_{F1})^2 + (z_{J1} - z_{F1})^2 = r_f^2$
1	$(E'_1 J_1)^2 = (y_{J1} - (y_0 - L_B))^2 + (z_{J1} - z_0)^2$	$(y_{J1} + L_A)^2 + (z_{J1})^2 = r_f^2$

$$(E_1 J_1)^2 = (E_1 E'_1)^2 + (E'_1 J_1)^2 \longrightarrow h^2 = c^2 + c^2 \quad \text{Equació 4-5}$$

$$(E_1 J_1)^2 = r_e^2 \longrightarrow (\text{Longitud braç inferior})^2 \quad \text{Equació 4-6}$$

$$(E_1 E'_1)^2 = x_0 \quad \text{Equació 4-7}$$

$$(E'_1 J_1)^2 = (y_{J1} - (y_0 - L_B))^2 + (z_{J1} - z_0)^2 = (\text{Radi circumferència petita})^2$$

$$r_e^2 = (x_0)^2 + (y_{J1} - (y_0 - L_B))^2 + (z_{J1} - z_0)^2 \longrightarrow h^2 = c^2 + c^2$$

Sistema d'equacions per obtenir el punt J on es tallen les circumferències [\[13\]](#):

$$r_e^2 = (x_0)^2 + (y_{J1} - (y_0 - L_B))^2 + (z_{J1} - z_0)^2 \quad \text{Equació 4-8}$$

$$(y_{J1} + L_A)^2 + (z_{J1})^2 = r_f^2 \quad \text{Equació 4-9}$$

$$\begin{cases} r_e^2 = (x_0)^2 + (y_{J1} - (y_0 - L_B))^2 + (z_{J1} - z_0)^2 \longrightarrow (1) h^2 = c^2 + c^2 \\ (y_{J1} + L_A)^2 + (z_{J1})^2 = r_f^2 \longrightarrow (2) \text{Circumferència petita} \end{cases}$$

Punt d'intersecció de les 2 circumferències $\rightarrow J_1(0, y_{J1}, z_{J1})$

Aïllem z_{J1}^2 de l'Equació 4-9 i ho substituïm a l'Equació 4-8. Així obtindrem l'equació de la recta Equació 4-8 que talla les 2 circumferències en el nostre punt desitjat J : [\[13\]](#)

$$z_{j1} = a + b \cdot y_{j1}$$

Equació 4-10

$$z_{j1} = a + b \cdot y_{j1}$$

$$(z_{j1})^2 = -(y_{j1} + L_A)^2 + r_f^2 \rightarrow \text{Hem aïllat } (z_{j1})^2$$

Desenvolupem l'Equació 4-10.

$$r_e^2 = (x_0)^2 + (y_{j1})^2 - 2y_{j1} \cdot (y_0 - L_B) + (y_0 - L_B)^2 + (z_{j1})^2 - 2z_{j1}z_0 + (z_0)^2 \rightarrow$$

Substituïm $(z_{j1})^2$ a l'Equació 4-8 i desenvolupem [\[13\]](#):

$$r_e^2 = (x_0)^2 + (y_{j1})^2 - 2y_{j1}(y_0 - L_B) + (y_0 - L_B)^2 - (y_{j1} + L_A)^2 + r_f^2 - 2z_{j1}z_0 + (z_0)^2 \rightarrow$$

$$r_e^2 = (x_0)^2 + (y_{j1})^2 - 2y_{j1}(y_0 - L_B) + (y_0 - L_B)^2 - (y_{j1})^2 - 2y_{j1} \cdot L_A - L_A^2 + r_f^2 - 2z_{j1}z_0 + (z_0)^2 \rightarrow$$

$$r_e^2 = (x_0)^2 + (y_{j1})^2 - 2y_{j1}y_0 + 2y_{j1}L_B + (y_0 - L_B)^2 - (y_{j1})^2 - 2y_{j1} \cdot L_A - L_A^2 + r_f^2 - 2z_{j1}z_0 + (z_0)^2 \rightarrow$$

$$2z_{j1}z_0 = -r_e^2 + (x_0)^2 + (y_{j1})^2 - 2y_{j1}y_0 + 2y_{j1}L_B + (y_0 - L_B)^2 - (y_{j1})^2 - 2y_{j1} \cdot L_A - L_A^2 + r_f^2 + (z_0)^2 \rightarrow$$

Aïllem z_{j1} :

z_{j1}

$$= \frac{-r_e^2 + (x_0)^2 + (y_{j1})^2 - 2y_{j1}y_0 + 2y_{j1}L_B + (y_0 - L_B)^2 - (y_{j1})^2 - 2y_{j1} \cdot L_A - L_A^2 + r_f^2 + (z_0)^2}{2z_0}$$

\rightarrow

$$z_{j1} = \frac{(y_0 - L_B)^2 + (x_0)^2 + (z_0)^2 - r_e^2 + r_f^2 - L_A^2}{2z_0} + \frac{2L_B - 2L_A - 2y_0}{2z_0} y_{j1} \rightarrow$$

Simplifiquem:

$$z_{j1} = \frac{(y_0 - L_B)^2 + (x_0)^2 + (z_0)^2 - r_e^2 + r_f^2 - L_A^2}{2z_0} + \frac{L_B - L_A - y_0}{z_0} y_{j1} \rightarrow$$

Obtenim els coeficients a i b de la recta

$$a = \frac{(y_0 - L_B)^2 + (x_0)^2 + (z_0)^2 - r_e^2 + r_f^2 - L_A^2}{2z_0} = \textit{Ordenada al origen}$$

L'ordenada al origen és el valor y en que la recta talla l'eix Y.

$$b = \frac{L_B - L_A - y_0}{z_0} = \textit{Pendent de la recta}$$

Obtenim z_{j1} amb l'equació de la recta $z_{j1} = a + b \cdot y_{j1}$

Després substituïrem z_{j1} a l'Equació 4-9.

Per obtenir y_{j1} necessitem resoldre l'equació de 2n grau corresponent a l'Equació 4-9 [13].

$$(y_{j1} + L_A)^2 + (z_{j1})^2 = r_f^2 \quad \text{Equació 4-9}$$

Desenvolupem l'Equació 4-9:

$$y_{j1}^2 + 2y_{j1}L_A + L_A^2 + z_{j1}^2 = r_f^2$$

Substituïm z_{j1} a l'Equació 4-9:

$$y_{j1}^2 + 2y_{j1}L_A + L_A^2 + (a + by_{j1})^2 = r_f^2$$

Desenvolupem l'equació:

$$y_{j1}^2 + 2y_{j1}L_A + L_A^2 + a^2 + 2aby_{j1} + (by_{j1})^2 = r_f^2$$

Obtenim l'equació de 2n grau en funció de y_{j1} :

$$(1 + b^2)(y_{j1})^2 + (2L_A + 2ab)y_{j1} + L_A^2 + a^2 - r_f^2 = 0$$

Calculem el discriminant.

$$\Delta = g^2 - 4hc$$

Desenvolupem el discriminant:

$$\Delta = (2L_A + 2ab)^2 - 4(1 + b^2)(L_A^2 + a^2 - r_f^2) \rightarrow$$

$$\Delta = 4L_A^2 + 8L_Aab + (2ab)^2 + (-4 - 4b^2)(L_A^2 + a^2 - r_f^2) \rightarrow$$

Obtenim els valors y_{j1} ; z_{j1}

$$y_{j1} = \frac{-g \pm \sqrt{\Delta}}{2h}$$

$$z_{j1} = a + b \cdot y_{j1}$$

Agafarem el valor de y_{j1} més gran, ja que si agafem un altre, l'angle entre el braç superior i inferior seria massa gran [\[13\]](#)

$$\theta_1 = \arctan \frac{-z_{j1}}{-y_{j1} + L_A}$$

$$\text{Si } y_{j1} - L_A < 0 \quad \rightarrow (catet_triangle < 0)$$

$$\text{Si } \theta_1 > \frac{\pi}{2} \quad \rightarrow (\theta_1 > 90^\circ)$$

Si es produeixen les condicions anteriors l'angle θ_1 obtingut serà negatiu respecte l'eix horitzontal. Haurem de sumar π rad (180°) a aquest angle perquè sigui positiu respecte l'eix.

Hem obtingut θ_1 . Per obtenir θ_2 i θ_3 utilitzarem la simetria del robot delta. Rotarem a través de l'eix Z el sistema de coordenades del pla XY 120° en sentit contrari a les agulles del rellotge.

En la Figura: 4-4 es mostra la rotació $\pm 120^\circ$ dels eixos de coordenades per calcular θ_2 i θ_3

[\[11\]](#)

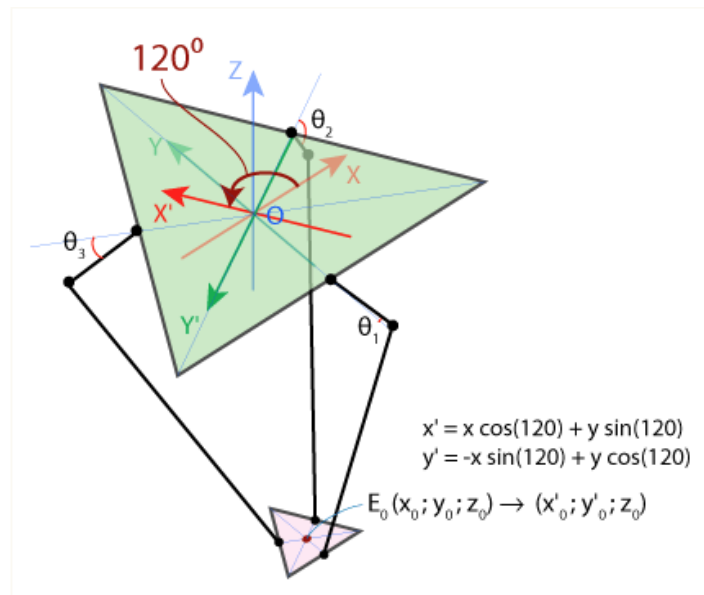


Figura: 4-4 Rotació dels eixos de coordenades

Hem obtingut el sistema de referencia $X'Y'Z'$ i podrem trobar θ_2 . Utilitzarem les mateixes equacions anteriors excepte les noves coordenades x'_0 i y'_0 del punt E_0 que obtindrem utilitzant la matriu de rotació.

Per trobar θ_3 rotarem el sistema de referencia de θ_1 al sentit de les agulles del rellotge.

Al programa tindrem una funció que calcularà l'angle θ i la cridarem 3 vegades per l'angle de rotació de cada motor.

4.2. CINEMÀTICA DIRECTA

Sabem el valor de θ_1 , θ_2 , θ_3 i necessitem trobar les coordenades x_0, y_0, z_0 (punt del efector final E_0). [\[11\]](#)

Al saber els angles θ podem trobar fàcilment les coordenades dels punts J_1 , J_2 i J_3 .

Els braços inferiors J_1E_1 , J_2E_2 i J_3E_3 giren al voltant dels punts J_1 , J_2 i J_3 formant 3 esferes de radi r_e que es mostren en la Figura: 4-5 per tal de que les 3 tallin en un mateix punt E_0 , s'han desplaçat perpendicularment al eix Z. [\[11\]](#)

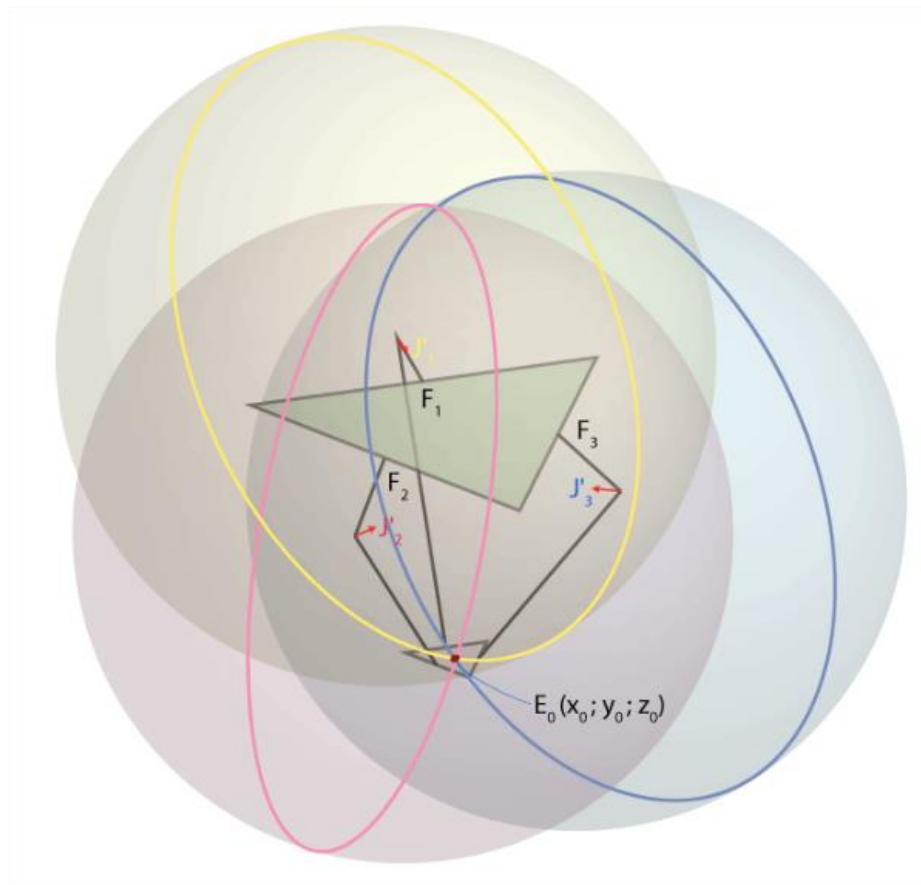


Figura: 4-5 Punt de tall de les 3 esferes.

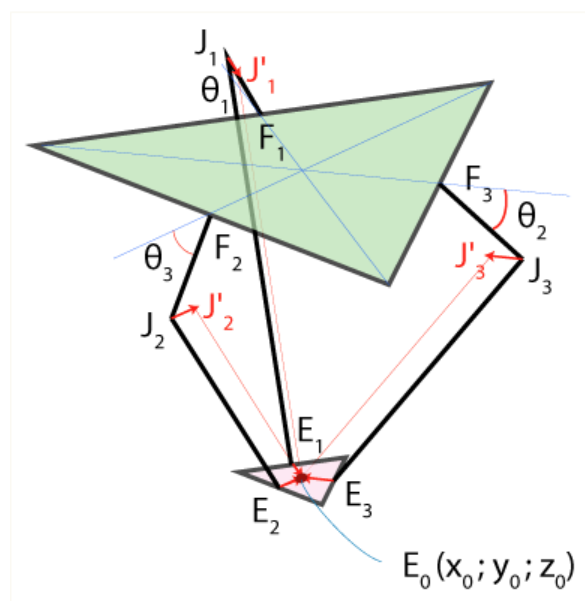


Figura: 4-6 Translació dels centres de les esferes.

Ara mourem els centres de les 3 esferes (J_1 , J_2 i J_3) cap als punts (J'_1 , J'_2 i J'_3) (Figura: 4-6).
Després d'aquest procés les 3 esferes s'encreuaran al punt E_0 .

Per trobar les coordenades del punt E_0 necessitem resoldre el sistema format per les 3 equacions de les esferes.

Les equacions que permeten realitzar el càlcul de la cinemàtica directa s'han extret de [\[11\]](#).

Les equacions són:

$$(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 = r_e^2 \quad \text{Equació 4-11}$$

A on:

x_j , y_j , z_j són les coordenades del centre de cada esfera que correspondran als punts J'_1 , J'_2 i J'_3 .

r_e és el radi de l'esfera

En la Figura: 4-7 es mostra el desplaçament de J cap a J' projectat en el pla YX .

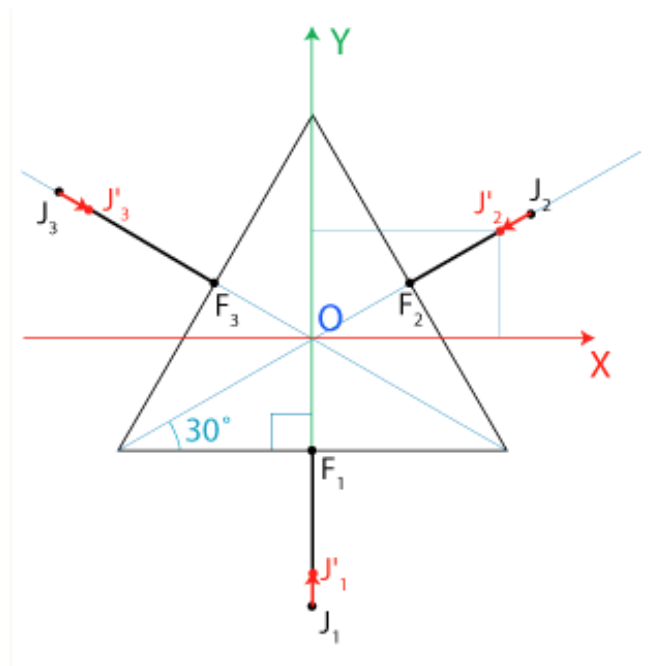


Figura: 4-7 Translació del punt J.

$$OF_1 = OF_2 = OF_3 = \frac{f}{2} \cdot \tan(30) = \frac{f}{2\sqrt{3}} \quad \text{Equació 4-12}$$

$$OF_1 = OF_2 = OF_3 = \frac{f}{2} \cdot \tan(30) = \frac{f}{2\sqrt{3}}$$

$$J_1J'_1 = J_2J'_2 = J_3J'_3 = \frac{e}{2} \cdot \tan(30) = \frac{e}{2\sqrt{3}} \rightarrow \text{Vectors del desplaçament de J.}$$

$$F_1J_1 = r_f \cdot \cos(\theta_1)$$

$$F_2J_2 = r_f \cdot \cos(\theta_2)$$

$$F_3J_3 = r_f \cdot \cos(\theta_3)$$

La Taula 4-3 mostra les coordenades del centre de cada esfera.

Taula 4-3 Coordenades del centre de cada esfera

Punt	X _i	Y _i	Z _i
J ₁ '	0	$\frac{-(f-e)}{2\sqrt{3}} - r_f \cdot \cos(\theta_1)$	$-r_f \cdot \sin(\theta_1)$
J ₂ '	$\left[\frac{(f-e)}{2\sqrt{3}} + r_f \cdot \cos(\theta_2) \right] \cdot \cos(30)$	$\left[\frac{(f-e)}{2\sqrt{3}} + r_f \cdot \cos(\theta_2) \right] \cdot \sin(30)$	$-r_f \cdot \sin(\theta_2)$
J ₃ '	$-\left[\frac{(f-e)}{2\sqrt{3}} + r_f \cdot \cos(\theta_2) \right] \cdot \cos(30)$	$\left[\frac{(f-e)}{2\sqrt{3}} + r_f \cdot \cos(\theta_3) \right] \cdot \sin(30)$	$-r_f \cdot \sin(\theta_3)$

La Taula 4-4 correspon a les equacions de les 3 esferes amb centre J'.

Taula 4-4 Equacions esferes.

Esfera	Equació	Núm.
Centre J ₁ '	$x^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = r_e^2$	Equació 4-13
Centre J ₂ '	$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = r_e^2$	Equació 4-14
Centre J ₃ '	$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = r_e^2$	Equació 4-15

La Taula 4-5 correspon a les equacions de les 3 esferes amb centre J' desenvolupades .

Taula 4-5 Equacions esferes desenvolupades 1

Esfera	Equació desenvolupada 1	Núm.
Centre J_1'	$x^2 + y^2 + z^2 - 2y_1y - 2z_1z = r_e^2 - y_1^2 - z_1^2$	Equació 4-13
Centre J_2'	$x^2 + y^2 + z^2 - 2x_2x - 2y_2y - 2z_2z = r_e^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2$	Equació 4-14
Centre J_3'	$x^2 + y^2 + z^2 - 2x_3x - 2y_3y - 2z_3z = r_e^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2$	Equació 4-15

La Taula 4-6 correspon a les equacions reduïdes de l'esfera ($w_i = x_i^2 + y_i^2 + z_i^2$)

Taula 4-6 Equacions esferes desenvolupades 2

Esfera	Equació desenvolupada 2	Núm.
Centre J_1'	$w_1 - 2y_1y - 2z_1z = r_e^2 - y_1^2 - z_1^2$	Equació 4-13
Centre J_2'	$w_2 - 2x_2x - 2y_2y - 2z_2z = r_e^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2$	Equació 4-14
Centre J_3'	$w_3 - 2x_3x - 2y_3y - 2z_3z = r_e^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2$	Equació 4-15

La Taula 4-7 correspon a la resolució dels sistemes d'equacions per igualació.

Taula 4-7 Resolució dels sistemes d'equacions.

Operació	Equació	Núm.
(Equació 4-13) - (Equació 4-14)	$x_2x + (y_1 - y_2)y + (z_1 - z_2)z = \frac{(w_1 - w_2)}{2}$	Equació 4-16
(Equació 4-13) - (Equació 4-15)	$x_3x + (y_1 - y_3)y + (z_1 - z_3)z = \frac{(w_1 - w_3)}{2}$	Equació 4-17
(Equació 4-14) - (Equació 4-15)	$(x_2 - x_3)x + (y_2 - y_3)y + (z_2 - z_3)z = \frac{(w_2 - w_3)}{2}$	Equació 4-18
(Equació 4-16) - (Equació 4-17)	$x_0 = a_1 \cdot z_0 + b_1$	Equació 4-19
(Equació 4-16) - (Equació 4-17)	$y_0 = a_2 \cdot z_0 + b_2$	Equació 4-20

La Taula 4-8 correspon als paràmetres obtinguts a partir de les equacions de la Taula 4-7.

Taula 4-8 Paràmetres equacions

Variable	Equació
a_1	$= \frac{1}{d} [(z_2 - z_1)(y_3 - y_1) - (z_3 - z_1)(y_2 - y_1)]$
a_2	$= -\frac{1}{d} [(z_2 - z_1)x_3 - (z_3 - z_1)x_2]$
b_1	$= -\frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)(y_3 - y_1) - (w_3 - w_1)(y_2 - y_1)]$
b_2	$= \frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)x_3 - (w_3 - w_1)x_2]$
d	$= (y_2 - y_1)x_3 - (y_3 - y_1)x_2$

Substituïm l' Equació 4-19 i l'Equació 4-20 a l'Equació 4-13:

$$(a_1^2 + a_2^2 + 1)z_0^2 + 2(a_1 + a_2(b_2 - y_1) - z_1)z_0 + (b_1^2 + (b_2 - y_1)^2 + z_1^2 - r_e^2) = 0$$

Obtenim una equació de 2n grau en que obtindrem z_0 .

Amb z_0 podrem calcular x_0 i y_0 a partir de l'equació (Equació 4-19) i (Equació 4-20).

5. IMPRESSIÓ 3D

5.1. IMPRESORA 3D UTILITZADA

La impressora utilitzada en el projecte és una Hephestos 2 de l'empresa BQ.



Figura: 5-1 BQ Hephestos 2

Es tracta d'una impressora DIY (<<Do it yourself: faci-ho vostè mateix>>). Significa que la impressora ve amb tots els components i el consumidor ha de fer l'assemblatge. A més ens proporcionen una guia de muntatge en paper i també vídeos amb il·lustracions molt entenedores.

Una de les raons perquè hem elegit aquest tipus d'impressora DIY és perquè són més econòmiques i existeixen una quantitat elevada de recanvis disponibles per la xarxa. Però la raó més important és que l'assemblatge és un mètode molt efectiu per aprendre els components d'un dispositiu.

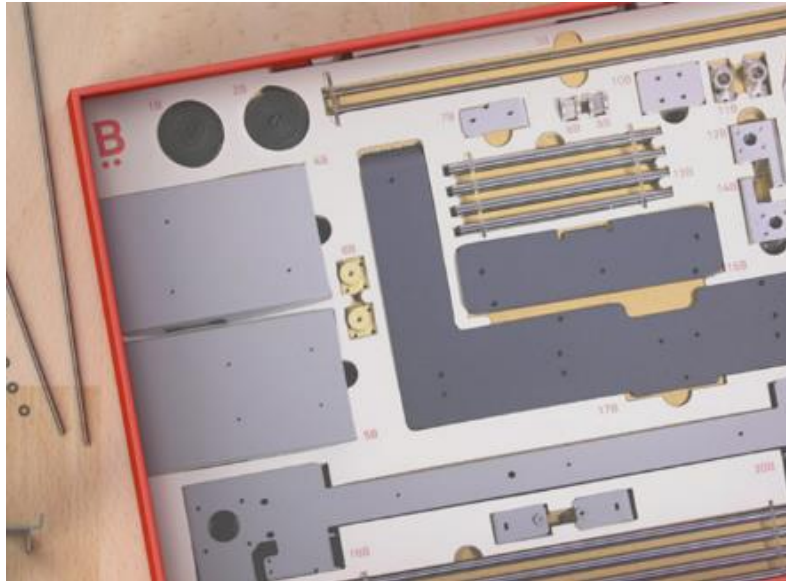


Figura: 5-2 Disposició de peces en la capça i la referència corresponent

5.2. VOLUM D'IMPRESSIÓ

El nostre volum d'impressió serà el de la Figura: 5-3 segons els eixos de coordenades de la Figura: 5-4

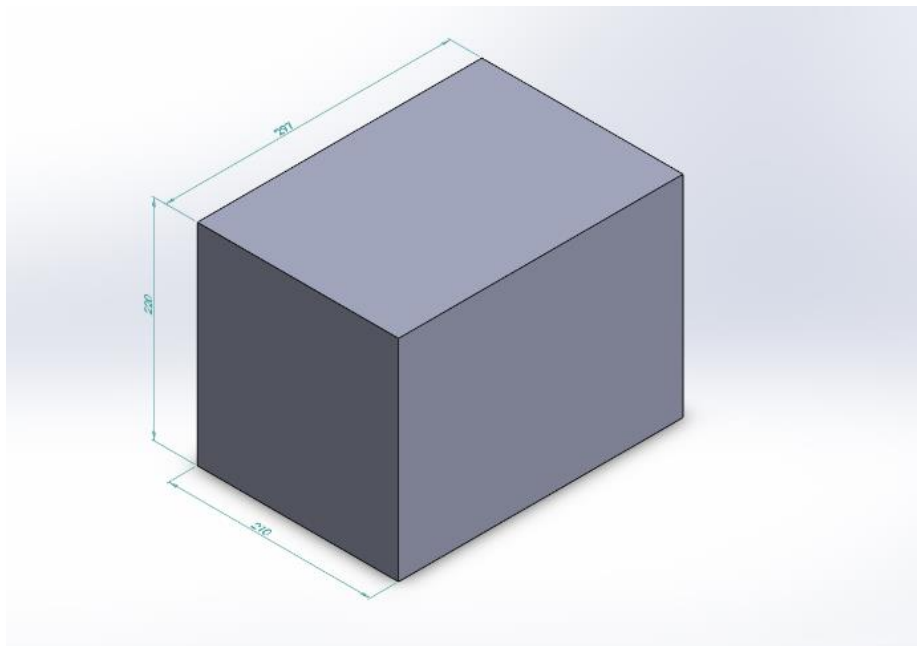


Figura: 5-3 Volum d'impressió BQ Hephastos 2

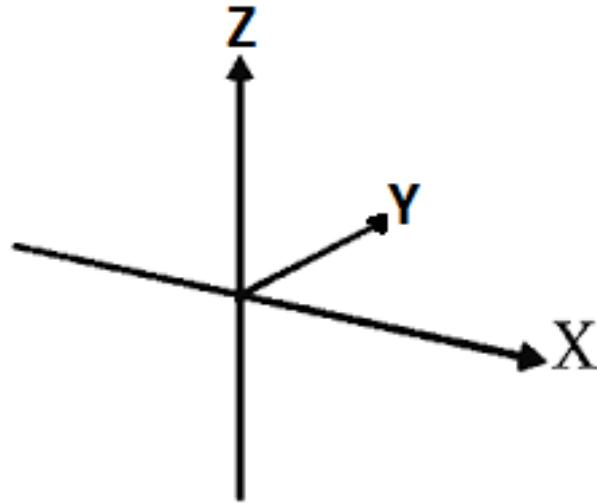


Figura: 5-4 Eixos de coordenades volum d'impressió

X → 210 mm

Y → 297 mm

Z → 220 mm

5.3. COMPONENTS BÀSICS IMPRESORA

En la Figura: 5-5 podem veure les articulacions lineals corresponents a cada grau de llibertat de la impressora.

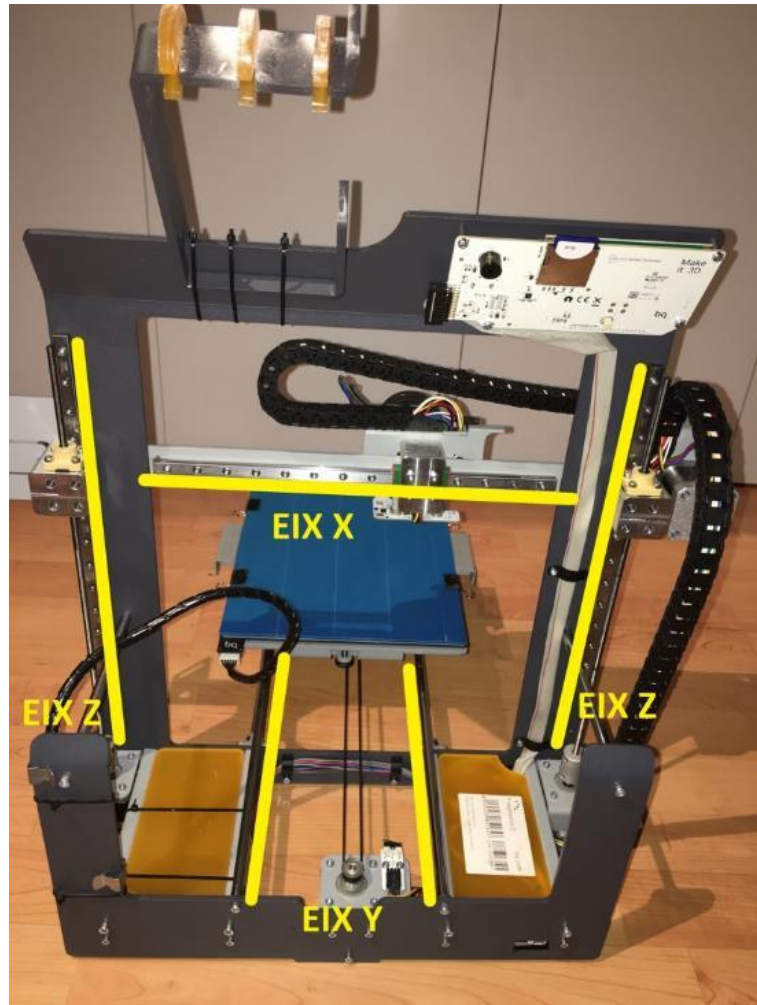


Figura: 5-5 Eixos impressora

En Figura: 5-6 podem veure la interfície de la nostra impressora. També l'entrada de la targeta SD on hi haurà el programa de la nostra peça.



Figura: 5-6 Interfície impressora

La impressora BQ Hephestos 2 conté la placa controladora “Zum Mega” tal i com es mostra en la Figura: 5-7. A més podem apreciar els cables connectats en la placa.

Per altres línies del bus del display LCD i encoder també hi passa la informació del programa de la peça ubicat en la targeta SD

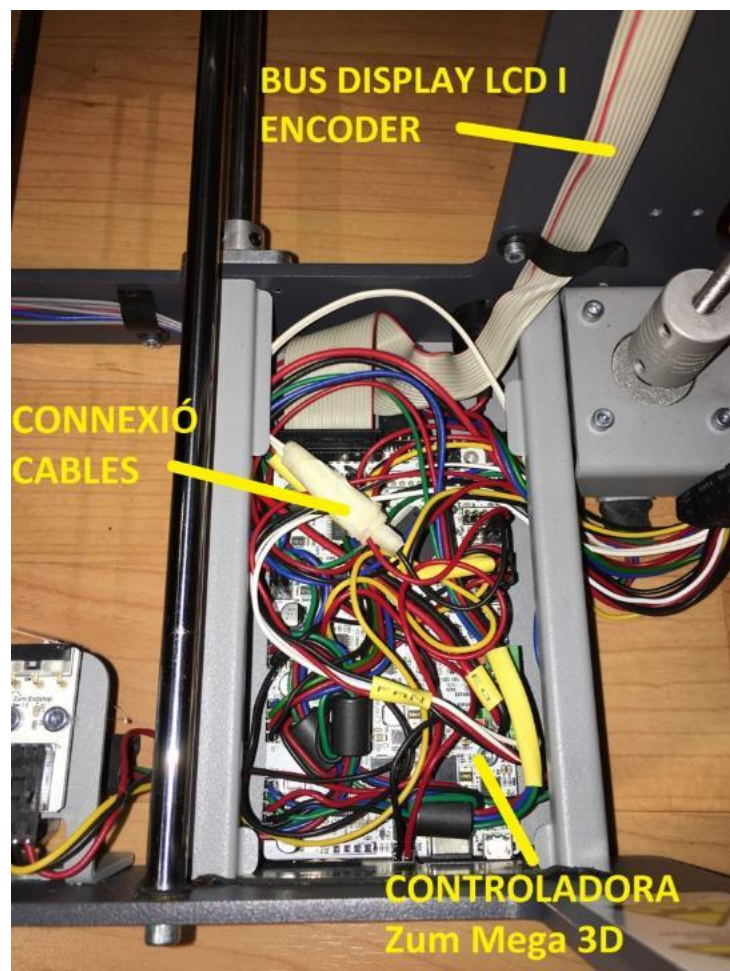


Figura: 5-7 Connexions a placa controladora.

En la Figura: 5-8 podem veure la placa del LCD, encoder i targeta SD



Figura: 5-8 Placa interfície

En la Figura: 5-9 i Figura: 5-10 podem veure la cara frontal de la impressora i la cara lateral.

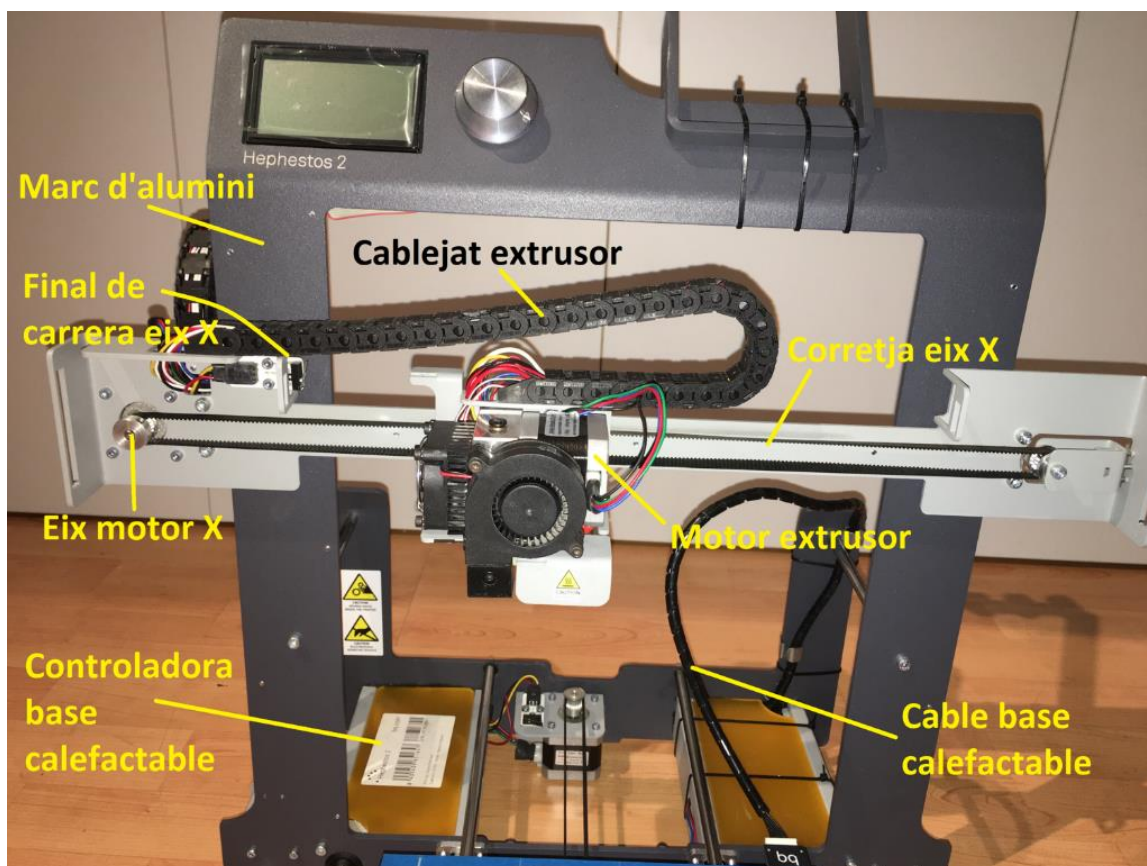


Figura: 5-9 Cara frontal impresora.

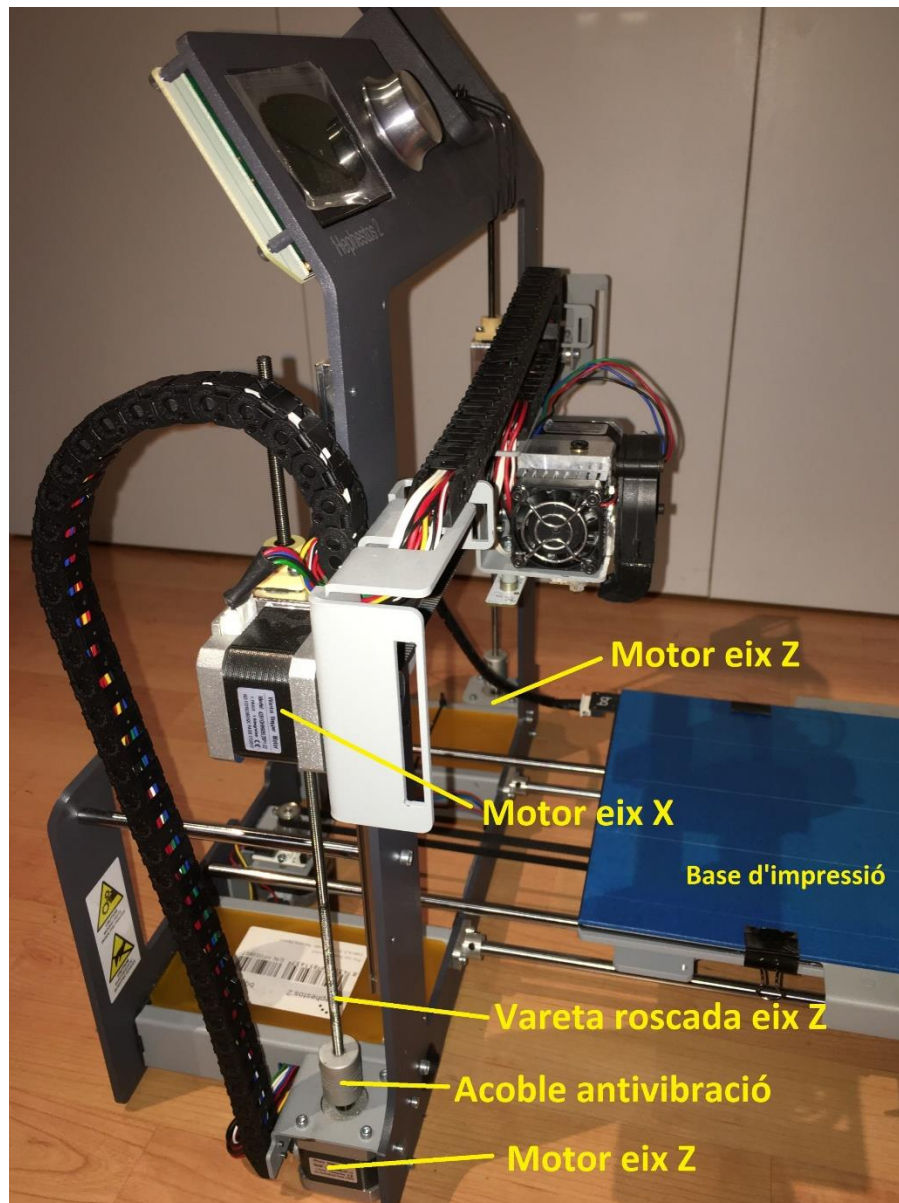


Figura: 5-10 Cara lateral impressora.

En Figura: 5-11 podem observar el *heatcore* de la nostra impressora.

Tenim el ventilador del extrusor que s'encarrega de refrigerar tota la part metàl·lica del extrusor. A més tenim el ventilador de la capa d'impressió que en el nostre cas és molt important ja que el PLA quan surt del extrusor està en estat líquid i presenta molt poca viscositat [36]. Llavors amb aquests ventiladors l'aconsegurem augmentar ja que interessa que el PLA recent sortit del extrusor es solidifiqui el més aviat possible perquè no hi hagi cap tipus de deformació en la capa. Si no hi hagués els ventilador succeiria el mateix que en la Figura: 5-12.

La boquera de refrigeració de capa envia un flux d'aire en sentit descendent cap a la base d'impressió.

També hi ha la boquera d'extrusió que en el nostre cas té un diàmetre de 0.4mm ja que és el que ve per defecte en la majoria d'impressores BQ. Amb una boquera de diàmetre petit podrem imprimir peces amb resolucions molt bones. L'inconvenient serà que el temps d'impressió augmentarà considerablement. D'altra banda una boquera amb un diàmetre gran permetrà una impressió més ràpida però la resolució serà més dolenta. Així mateix serà més complicat que les capes quedin ben unides entre si, ja que l'alçada de capa augmentarà i la boquera no pressionarà tant bé en sentit descendent cap a la base d'impressió.

La impressora controla la distància Z (des de la boquera d'extrusió fins a la base d'impressió) a través d'un sensor inductiu (Figura: 5-11 i Figura: 5-13). Per sota de la base d'impressió existeix una làmina d'acer (Figura: 5-14) que és un material ferromagnètic que té una permeabilitat magnètica adequada per poder treballar amb aquest tipus de sensors.

El sensor inductiu genera un camp magnètic d'alta freqüència Figura: 5-15. Quan l'objecte s'apropa al camp magnètic es produeixen unes corrents de Foucault en l'objecte [\[40\]](#). Llavors com més a prop s'estigui del sensor hi haurà més corrent d'inducció que provocarà una atenuació de la senyal d'alta freqüència. Així que el sensor detecta la variació de l'amplitud de la senyal d'altra freqüència emesa inicialment tal i com es mostra en la Figura: 5-16.

La base d'impressió tal i com es mostra en la Figura: 5-17 és una làmina de vidre de borosilicat de 3mm de gruix. Aquest tipus de vidre té una resistència tèrmica molt elevada i no es deformarà amb les nostres temperatures d'impressió. Per sobre del vidre hem enganxat una cinta blava que aguanta temperatures elevades i afavoreix que les primeres capes de la peça s'adhereixin a la base d'impressió.

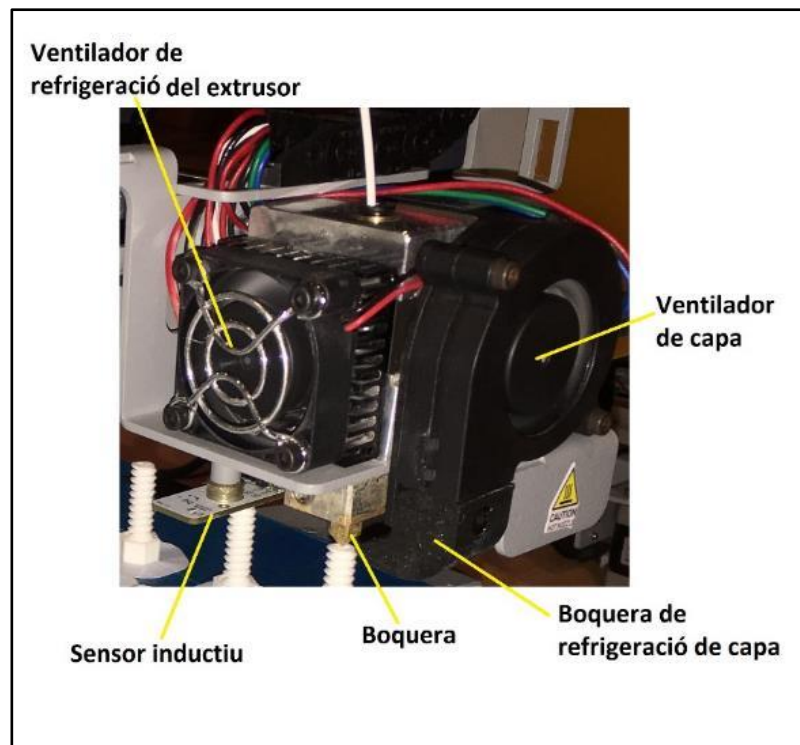


Figura: 5-11 Components principals del Heatcore.

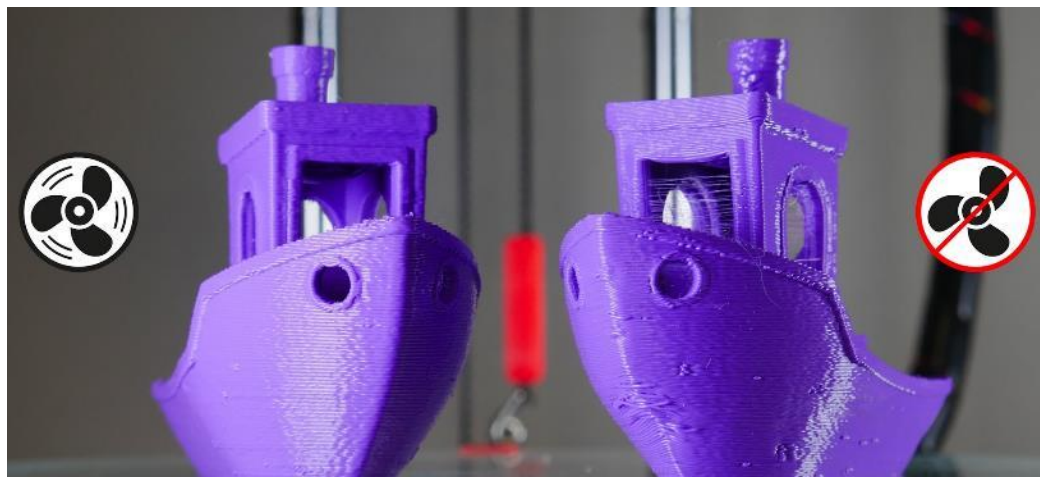


Figura: 5-12 Comparació peça impresa amb ventilador de capa [\[36\]](#).

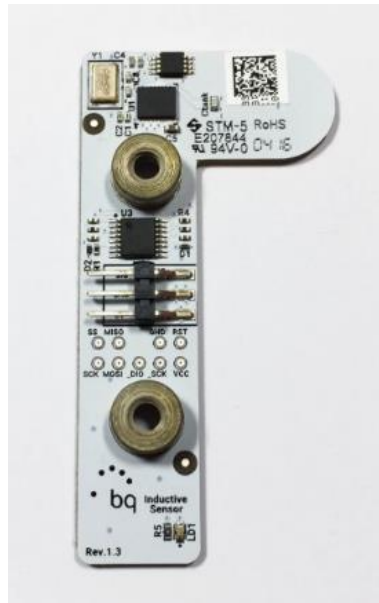


Figura: 5-13 Sensor inductiu BQ Hephestos 2

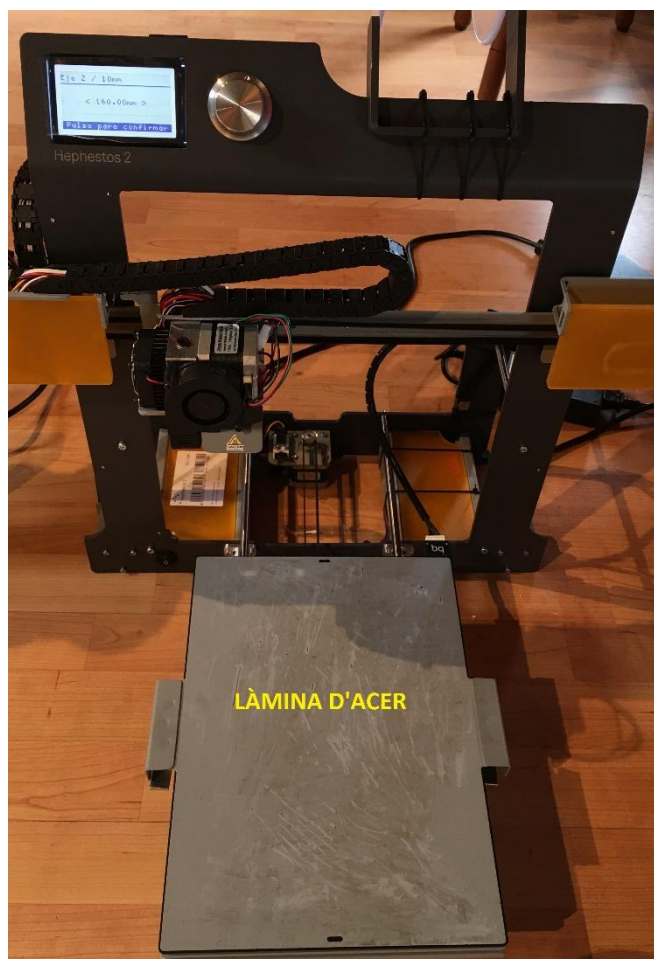


Figura: 5-14 Làmina d'acer base d'impressió.

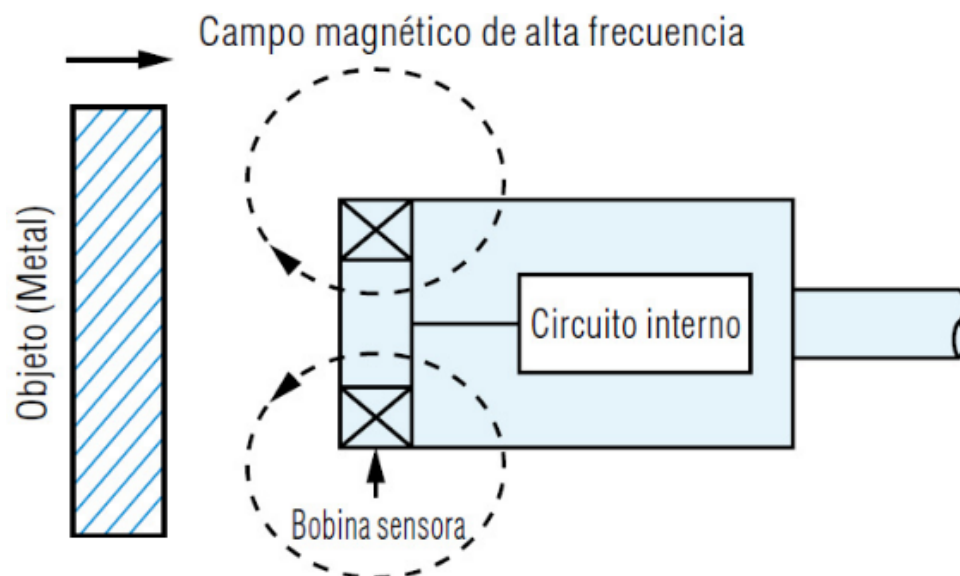


Figura: 5-15 Esquema funcionament sensor inductiu [40].



Figura: 5-16 Camp magnètic d'alta freqüència.



Figura: 5-17 Làmina de vidre

En la Figura: 11-28 podem veure un dels elements més importants del *Heatcore*, l'engranatge que impulsa el filament cap al extrusor. Té unes dents poc pronunciades per tal de que hi hagi una fricció suficient per fer l'impuls i així no tallar el filament accidentalment. Tanmateix en la Figura: 11-29 tenim l'engranatge que transmet l'energia del motor de pas del extrusor al eix del engranatge impulsor. A més podem graduar la força que exerceix l'engranatge sobre el filament amb la molla de tracció (Figura: 11-30) tal i com es mostra en la Figura: 11-16.

En la Figura: 11-35 apareix el *Hotend* o *Fusor* que és l'element encarregat de fondre el filament fins a una temperatura idònia d'extrusió. En la Figura: 5-18 apareixen les diferents zones del Hotend [\[44\]](#):

- En la **zona freda** s'evita que la calor es propagui per tota la impressora i al motor de pas del extrusor. En aquesta zona sempre hi ha un petit dissipador d'alumini.

- La **zona de transició** on es produeix el canvi d'estat del material, està feta d'acer inoxidable.
- En la **zona calenta** el material es fon completament i canvia la seva forma fins adaptar-se al diàmetre de la boquera. En aquesta part hi ha el cartutx calefactor que proporciona l'energia necessària perquè s'assoleixi i es mantingui la temperatura d'extrusió adequada. Igualment tenim un sensor de temperatura que és un termistor NTC de 100K que monitoritza la temperatura en aquesta zona. Quan s'augmenta la temperatura el termistor disminueix la resistència llavors la caiguda de tensió en els seus borns disminueix i la intensitat que circula augmenta. En la Figura: 5-18 podem veure aquests components.

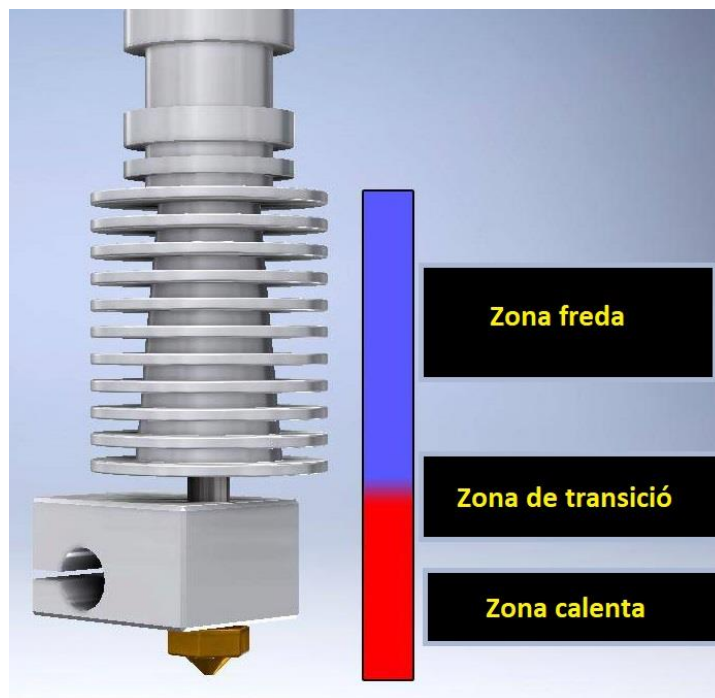


Figura: 5-18 Zones del *Hotend* [44]

5.4. MATERIAL UTILITZAT

El material que hem utilitzat és el PLA un termoplàstic conegut com a poliàcid làctic que prové del blat de moro. Les característiques son les següents [35]:

- És un material fàcil d'imprimir i el rang de temperatura d'impressió va de 190 a 220°
- Presenta una resistència mecànica baixa. Dur i fràgil.
- Perd solidesa a una temperatura de 60 a 70°C
- Reducció de les contraccions entre les capes impreses (*Warping*).
- Olor agradable i no tòxica
- Poca resistència tèrmica (no adequat per suportar temperatures elevades)
- És biodegradable
- Absorbeix molt la humitat del aire (haurem d'imprimir en una zona seca per obtenir una bona impressió)

En la Figura: 5-19 es mostra el bobinat d'1Kg de PLA transparent que hem utilitzat en tota la impressió del projecte.



Figura: 5-19 Bobinat d'1Kg de PLA

5.5. QUANTITAT DE MATERIAL UTILITZAT I TEMPS D'IMPRESSIÓ

Hem intentat reduir al màxim la quantitat de material de les peces impreses del nostre projecte ja sigui per estalviar temps i diners. La reducció s'ha fet de tal manera que no s'afectés la integritat estructural de cada peça.

En la Taula 5-1 es mostra cada peça del projecte amb la seva massa i les masses totals. A més també hi ha el temps d'impressió de cada peça. D'aquesta manera podrem saber la quantitat total de material PLA consumit i les hores totals d'impressió.

Taula 5-1 Massa de cada peça i temps d'impressió.

REF.	NOM DE PEÇA	MASSA PER PEÇA (g)	QUANT.	MASSA TOTAL (g)	Temps d'impressió per peça (Hor:min:seg)	Temps total (Hor:min:seg)
1	Base inferior	52	1	52	6:01:00	6:01:00
2	Base superior	213	1	213	22:20:00	22:20:00
3	Braç inferior	99	3	297	10:50:00	32:30:00
4	Braç superior	75	3	225	7:42:00	23:06:00
5	Suport horitzontal	408	3	1224	24:17:00	72:51:00
6	Tapa base superior	183	1	183	18:57:00	18:57:00
7	Columna superior	213	3	639	19:19:00	57:57:00
8	Columna mitjana	230	3	690	20:26:00	61:18:00
9	Columna inferior	464	3	1392	24:19:00	72:57:00
10	Suport perímetre	317	3	951	24:06:00	72:18:00
11	Suport base central	93	6	558	8:29:00	50:54:00
11	Base central 1	140	1	140	14:24:00	14:24:00
11	Base central 2	138	1	138	14:45:00	14:45:00
11	Base central 3	19	1	19	2:00:00	2:00:00
11	Base central 4	171	1	171	18:08:00	18:08:00
11	Base central 5	203	1	203	21:38:00	21:38:00
11	Base central 6	96	1	96	9:47:00	9:47:00
11	Base central 7	135	1	135	14:21:00	14:21:00
11	Base central 8	187	1	187	19:55:00	19:55:00
11	Base central 9	54	1	54	5:41:00	5:41:00
11	Base central 10	79	1	79	8:00:00	8:00:00

11	Base central 11	51	1	51	5:29:00	5:29:00
14	Arandela petita	0,1	36	3,6	0:04:00	2:24:00
15	Arandela gran	1	33	33	0:07:00	3:51:00
16	Femella petita	1	30	30	0:06:00	3:00:00
17	Femella gran	1	18	18	0:05:00	1:30:00
18	Cargol base superior	1	12	12	0:39:00	7:48:00
19	Cargol base inferior	1	3	3	0:27:00	1:21:00
20	Cargol coixinet	1	3	3	0:34:00	1:42:00
21	Cargol columna curt	1	9	9	0:13:00	1:57:00
22	Cargol columna llarg	1	18	18	0:35:00	10:30:00
23	Cargol perímetre base	1	12	12	0:17:00	3:24:00
TOTAL		3629,1	215	7838,6		662h:44min:00s

Hem consumit 7838g \approx 7.8Kg de material PLA per elaborar totes les peces del projecte.

Per consegüent hem utilitzat 8 bobines de PLA (dada que serà útil pel pressupost).

En la Figura: 5-20 es pot observar que les peces de major massa són la *columna inferior* i el *suport horitzontal*. En canvi les de menor massa corresponen als cargols, arandeles i femelles.

Pel que fa al temps d'impressió total hem obtingut un valor de 662h i 44min que vindria a ser uns 28 dies d'impressió. En la Figura: 5-21 podem observar que les peces amb més temps d'impressió són la columna inferior, el suport horitzontal i la base superior. D'altra banda les peces amb menor temps d'impressió són els cargols, les arandeles i les femelles.

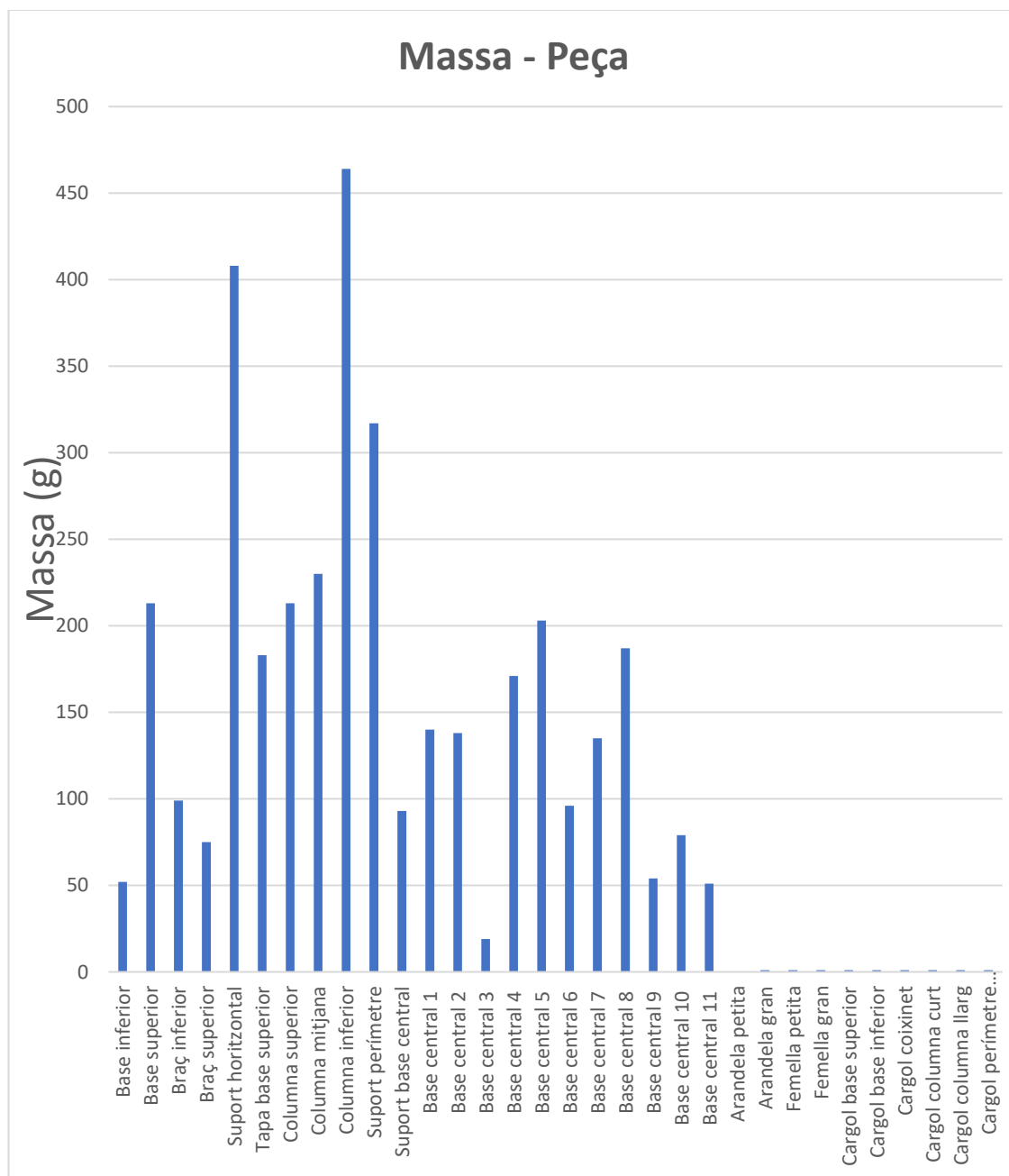


Figura: 5-20. Gràfica de la massa de cada peça.

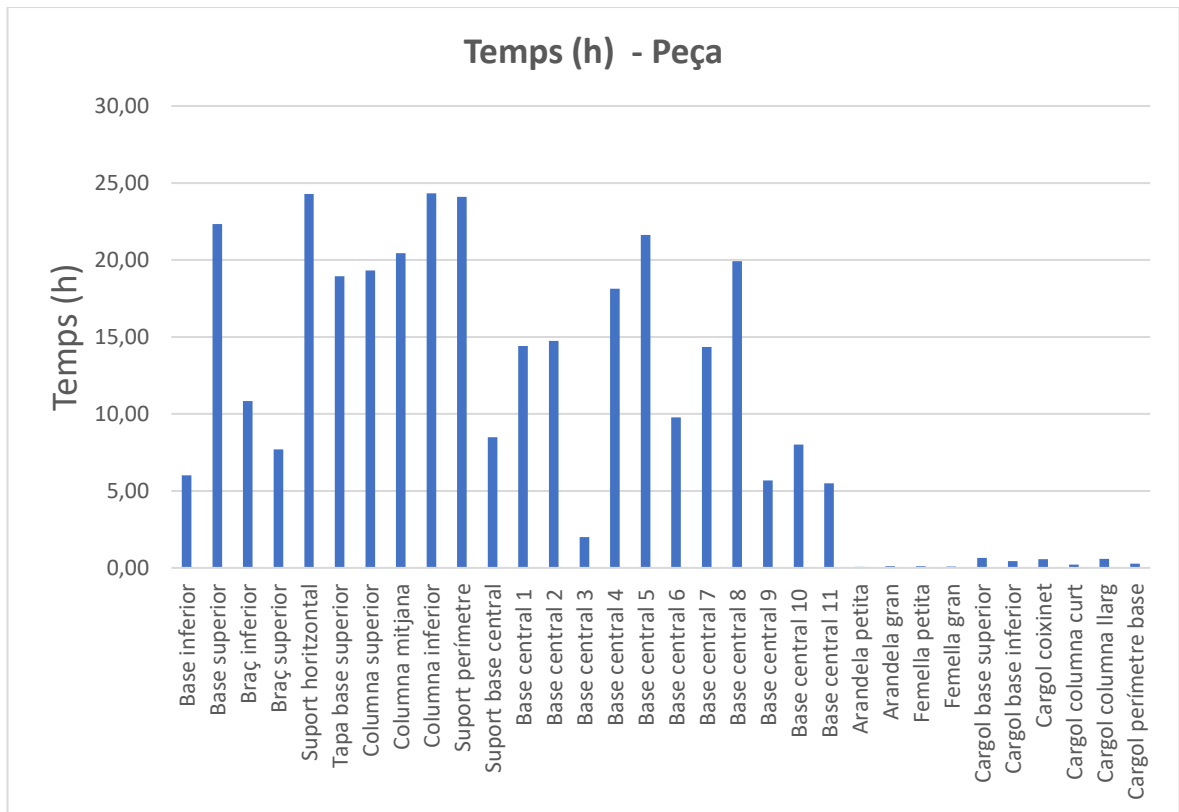


Figura: 5-21 Gràfica del temps d'impressió de cada peça

5.6. PARÀMETRES D'IMPRESSIÓ SELECCIONATS

5.6.1. ALÇADA DE CAPA

L'alçada de capa correspon a l'alçada de cada capa que conforma una peça. És una mesura de qualitat i resolució del objecte que estem creant tal i com es mostra en la Figura: 5-22.

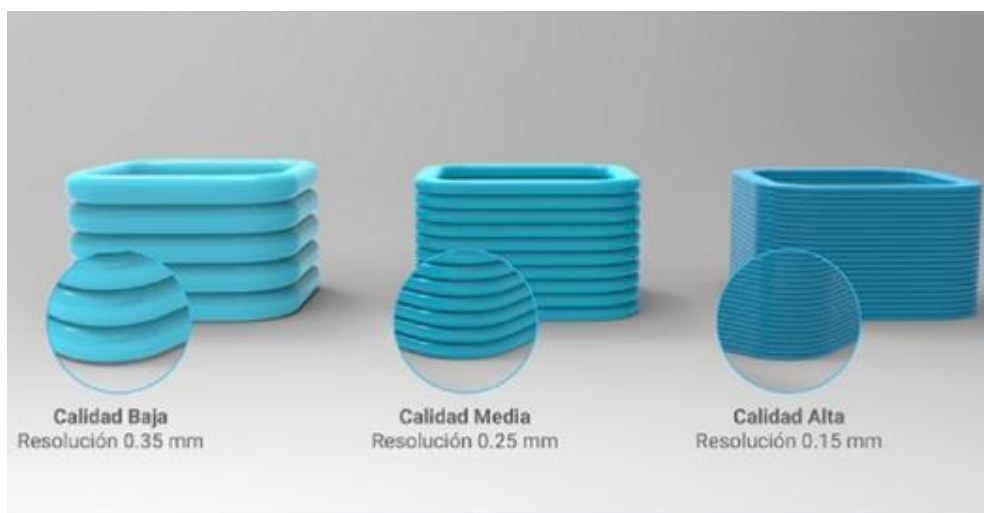


Figura: 5-22 Alçades de capa d'impressió.

Nosaltres hem elegit una alçada de capa de 0.2mm.

5.6.2. DENSITAT DEL FARCIMENT

La densitat del farciment s'utilitza per reduir la quantitat de material d'impressió, la massa i el temps.

Nosaltres hem elegit un farciment del 30% en totes les peces del projecte. El patró del farciment que hem elegit, és a dir, la disposició geomètrica del material dipositat és Trihexagonal ja que ofereix molt bona resistència en totes les direccions.

En la Figura: 5-23 es mostra un exemple del farciment trihexagonal de la base superior.

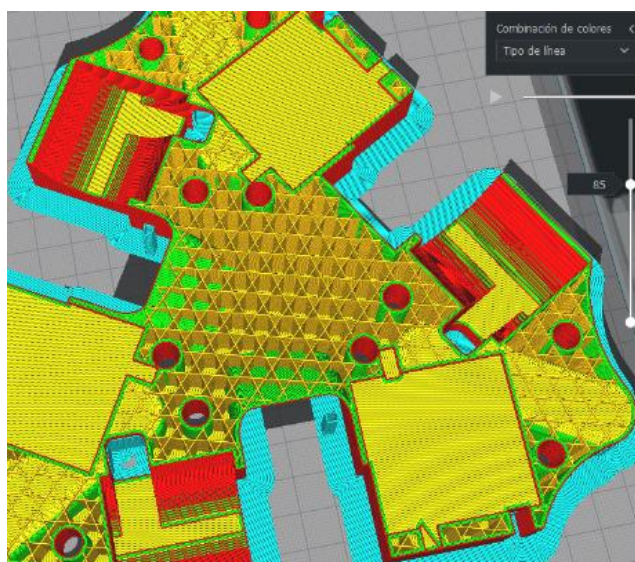


Figura: 5-23 Farciment trihexagonal.

5.6.3. TEMPERATURA D'IMPESSIÓ

Nosaltres hem utilitzat una temperatura d'impressió de 200°C ja que les impressions s'han desenvolupat en temporada d'hivern i les temperatures de la sala eren inferiors als 20°C.

5.6.4. RETRACCIÓ

La retracció és el moviment de retrocés del filament mitjançant el motor de pas del extrusor i l'engrenatge de la Figura: 11-28. D'aquesta manera evitarem el degoteig de material que pot deixar la boquera del extrusor quan es mou per sobre una àrea en que no s'ha d'imprimir res [\[37\]](#). La retracció és com si aspiréssim el filament en les zones en que no s'ha d'imprimir. Si no fem la retracció pot succeir el mateix que la Figura: 5-24.



Figura: 5-24 Peça sense retracció [\[38\]](#).

Nosaltres hem modificat el paràmetre de distància de retracció que és la longitud del material que retrocedeix en el procés de retracció. Hem seleccionat una longitud de 6.5mm.

En la retracció també es pot configurar el paràmetre d'elevació del eix Z al fer la retracció. Hem elegit un valor de 1mm per assegurar-nos que la boquera no toqui àrees impreses quan s'ha de moure cap a un altre punt llunyà respecte el precedent.

5.6.5. VELOCITAT D'IMPRESSIÓ

La velocitat d'impressió és un paràmetre que afecta directament la qualitat de la peça. Quan més elevada sigui la impressió menys qualitat tindrà la peça ja que s'exerceix més força al extrusor i cada vegada que es canvia de direcció es produeix una inèrcia que pot produir vibracions causant imperfeccions.

La velocitat d'impressió també afecta la temperatura d'extrusió. A més velocitat necessitarem més temperatura ja que l'extrusor no pot tenir el temps suficient per fondre el filament de PLA.

Les parets exteriors de les peces són impreses a la meitat de velocitat que el farciment. Així es millora la qualitat final del forro.

Nosaltres hem elegit una velocitat d'impressió de farciment de 40 mm/s ja que aconseguim un equilibri entre qualitat i velocitat.

5.6.6. SUPORTS

Els suports són unes estructures que es col·loquen en la part inferior de les zones d'impressió que no tenen cap mena de subjecció. Són com una espècie de pilars que són necessaris ja que sinó la peça es trencaria o el PLA directament cauria en la base d'impressió sense adherir-se sobre alguna capa. Si no hi hagués suports succeiria com en la Figura: 5-25.



Figura: 5-25 Peça sense suports [\[41\]](#)

L'angle de voladís és un paràmetre que utilitza el programa per adherir suports en aquelles superfícies que tenen un pendent o angle superior al configurat respecte l'eix vertical tal i com es mostra en la Figura: 5-26. Nosaltres hem seleccionat un angle de voladís de 50°

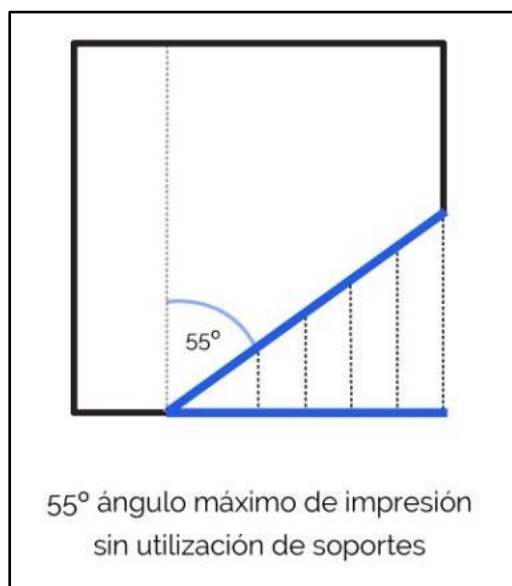


Figura: 5-26 Esquema del angle de voladís [\[39\]](#).

Existeixen diferents formes de suports (Figura: 5-27). Nosaltres hem elegit la concèntrica ja que és estable i es fàcil de desenganxar quan la peça s'ha imprès

completament. En la impressió de la Figura: 5-28 podem apreciar els suports concèntrics.



Figura: 5-27 Formes de suports d'impressió.

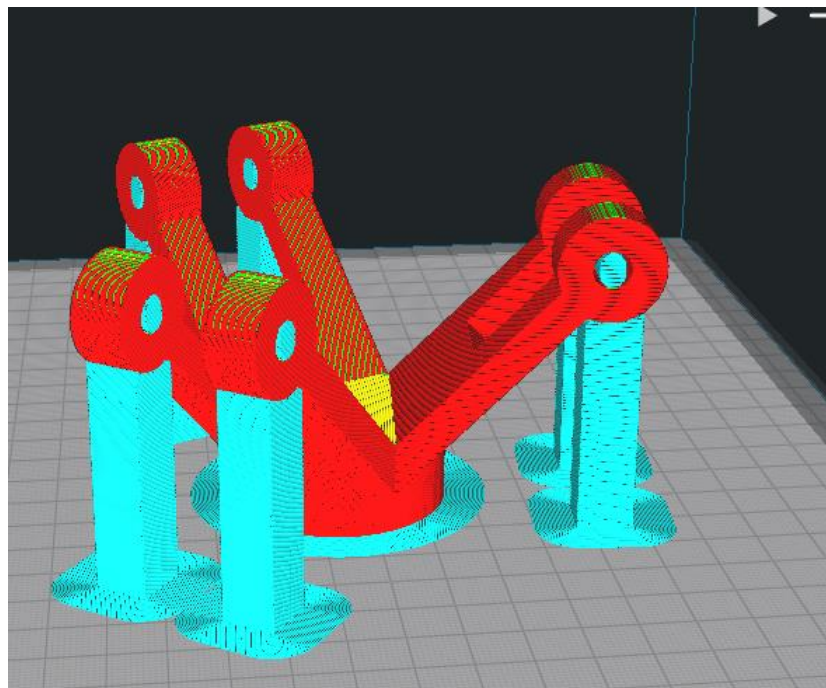


Figura: 5-28 Base inferior amb adherència Brim.

5.6.7. TIPUS D'ADHERENCIA DE LA PLACA

Quan imprimim peces que tenen una base petita o un disseny complex poden aparèixer problemes d'adherència del filament en la base. Llavors modificant el tipus d'adherència podem solucionar part del problema [\[42\]](#).

Nosaltres hem elegit l'adherència vorada o *Brim*. El procediment consisteix en elaborar una copia del contorn de la peça a imprimir. D'aquesta manera assegurem que s'ha purgat l'extrusor abans d'imprimir la peça i així evitem tenir errors des d'un principi. D'aquesta manera es disposa el material al voltant de la peça fent contacte amb ella i

es solen fer 2 capes. L'utilitzarem en peces que tinguin una base molt estreta o tinguin cantonades que siguin fàcil de desenganxar-se.

En la Figura: 5-28 podem observar aquest tipus de contorn de color blau en la base de la peça.

5.7. CALIBRATGE CORRECTE

Abans de començar a imprimir és molt important tenir la base d'impressió ben anivellada. Es a dir que si donem una Z fixa ha d'haver la mateixa equidistància entre la boquera i la base d'impressió en qualsevol coordenada X i Y.

Primer de tot haurem de posicionar la impressora en la posició *Home* en que les coordenades XYZ seran 0.

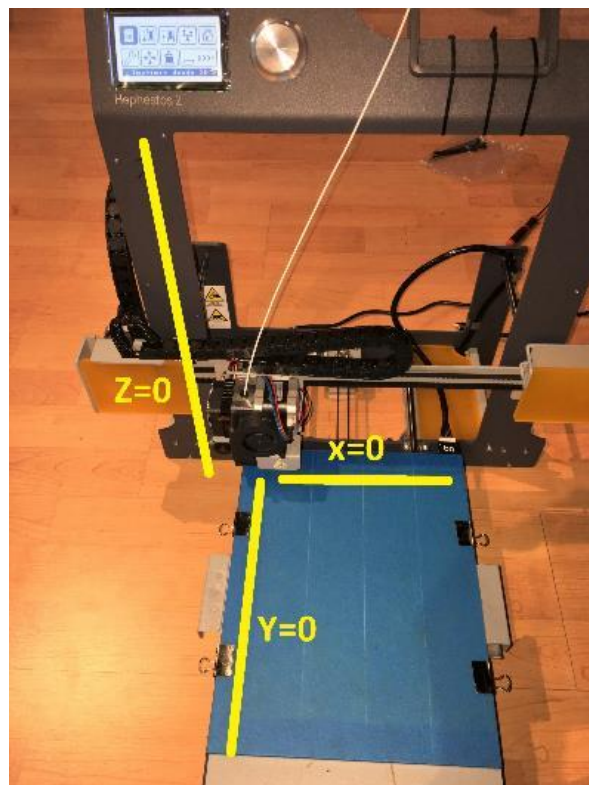


Figura: 5-29 Posició Home impressora.

Després mourem el *Heatcore* als punts de la base on hi ha els cargols per modificar l'alçada de la base tal i com es mostra en la Figura: 5-30

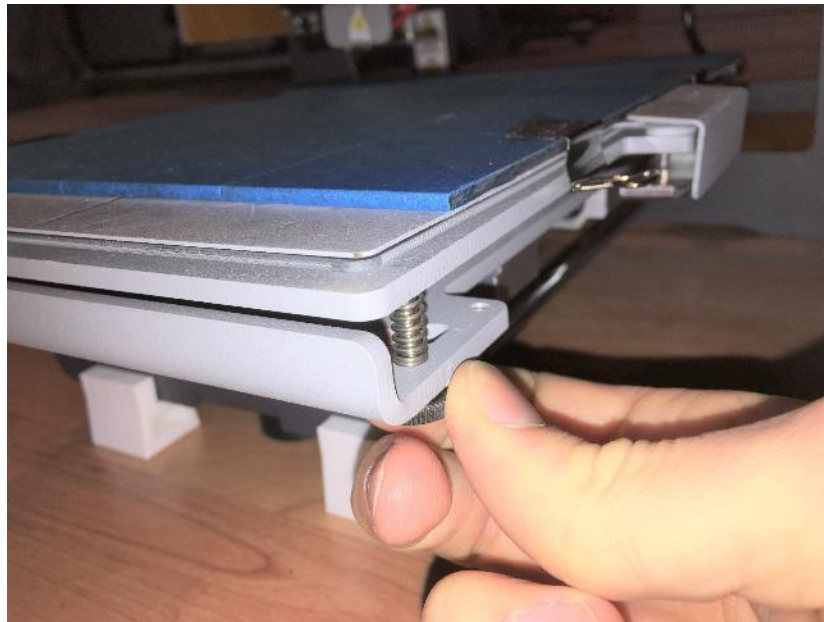


Figura: 5-30 Cargols de regulació d'alçada.

En cada punt col·locarem un paper entre la boquera i la base d'impressió de tal manera que quedi just i es pugui moure amb una fricció mitjana (Figura: 5-31).

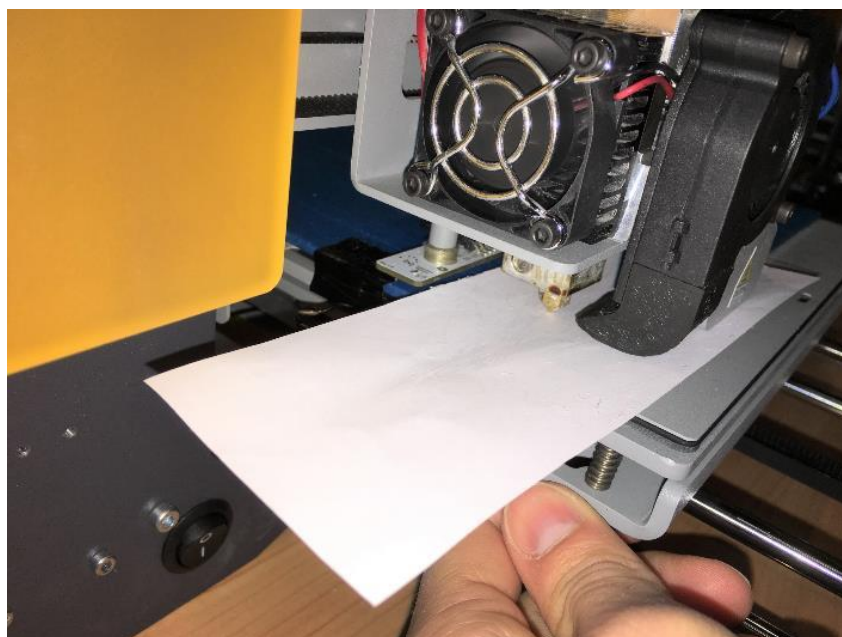


Figura: 5-31 Calibratge amb paper.

El nostre sensor inductiu tindrà en compte la distància entre la boquera d'extrusió i la base d'acer. No obstant això la base de vidre de 3mm i el petit gruix de la cinta blava no seran detectats pel sensor. Llavors hem de calibrar el paràmetre offset (Figura: 5-32) que consisteix en elevar el sistema de coordenades de la impressora una longitud determinada respecte l'eix Z. Llavors la impressora té una opció que consisteix en el calibratge del offset en que la boquera es situa en la part central de la base d'impressió i hem de fer el mateix procediment de posar el paper entre les 2 peces modificant l'alçada a través del encoder de la interfície de la impressora tal i com es mostra en la Figura: 5-33.

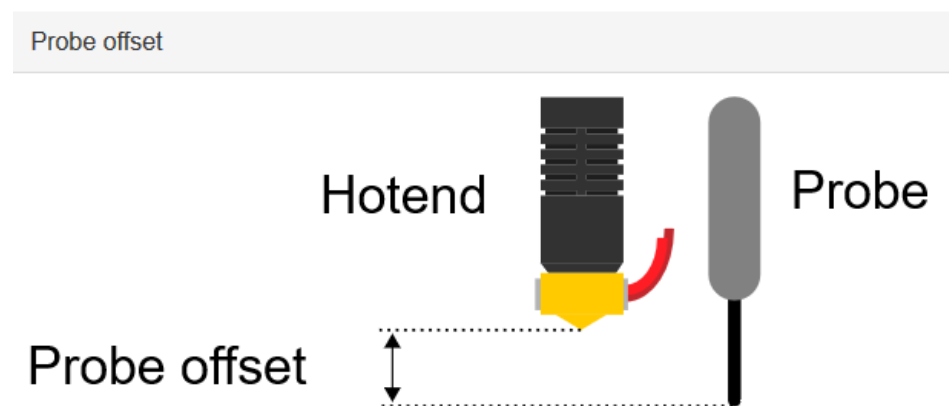


Figura: 5-32 Esquema del offset [\[43\]](#).



Figura: 5-33 Regulació del Offset.

5.8. MANTENIMENT CORRECTE

5.8.1. LUBRICACIÓ

Les articulacions lineals de l'impressora i les varetes roscades del eix Z han d'estar ben netes i lubricades. D'aquesta manera evitarem vibracions perjudicials i sorolls desagradables.

Per tant amb un desengrassant netejarem les varetes (Figura: 5-34) de tal manera que quedin amb una tonalitat brillant. Les altres articulacions no s'embruten tant i no les haurem de netejar amb tanta freqüència.

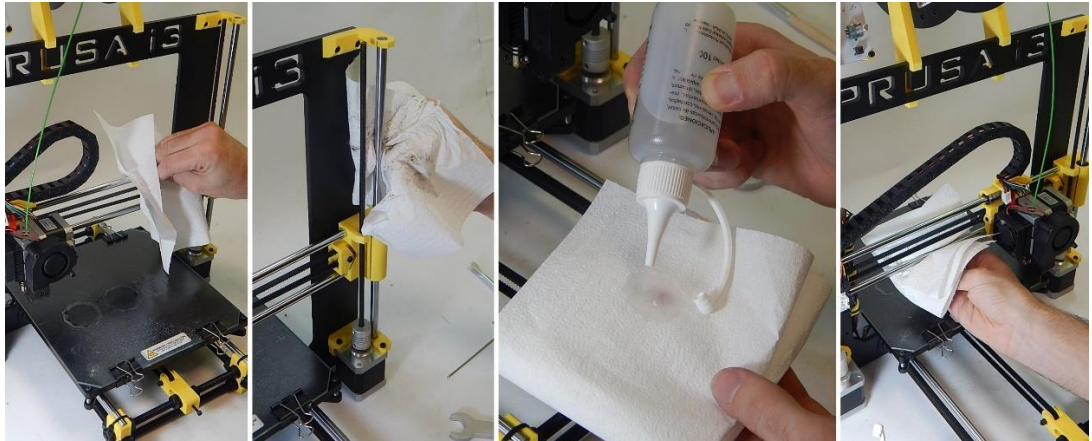


Figura: 5-34 Neteja i lubricació d'articulacions [45].

Llavors aplicarem una petita quantitat de greix de liti sobre les vares roscades. En canvi utilitzarem oli que s'utilitza per lubricar les màquines de cosir per les altres articulacions lineals tal i com es mostra en la (Figura: 5-35).

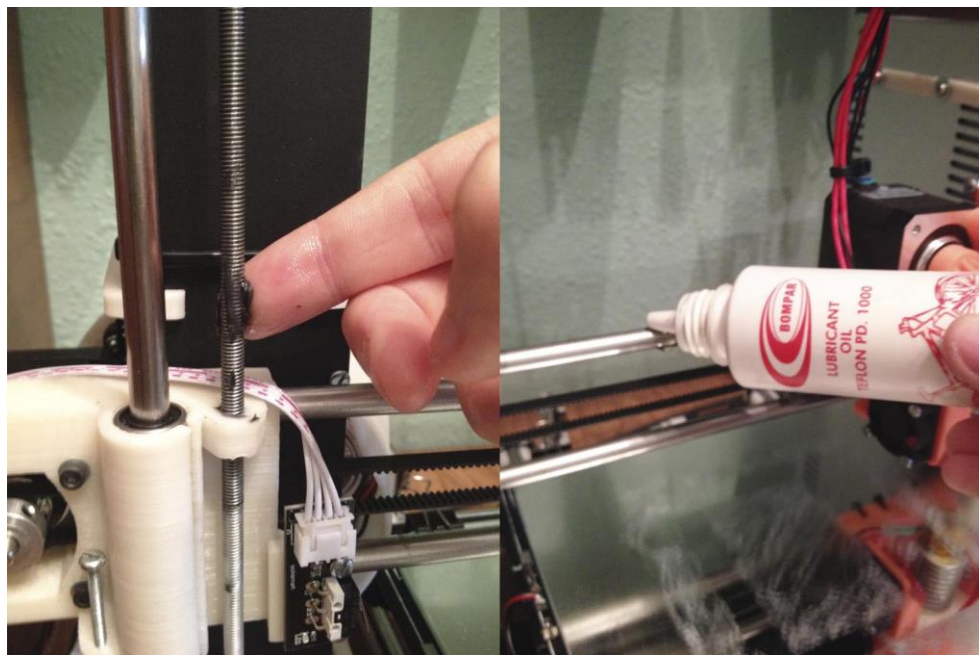


Figura: 5-35 Lubricació de la vareta roscada [45].

5.8.2. NETEJA DE LA BOQUERA D'EXTRUSIÓ

Després d'imprimir unes quantes hores, el forat de la boquera es taponarà d'impureses. Consisteix en una petita part de material que es queda en la boquera i es va recremant al llarg de les impressions. El procediment consisteix en introduir una agulla

d'acupuntura pel forat petit de la boquera i extreure el material acumulat. Prèviament s'escalfa el *Hotend* a una temperatura de 240°C per tal que les impureses es tornin del tot líquides i es puguin extreure amb més facilitat tal i com es mostra en la Figura: 5-36.

En la Figura: 5-37 podem observar les impureses extretes de la boquera que es troben enganxades en l'agulla d'acupuntura.

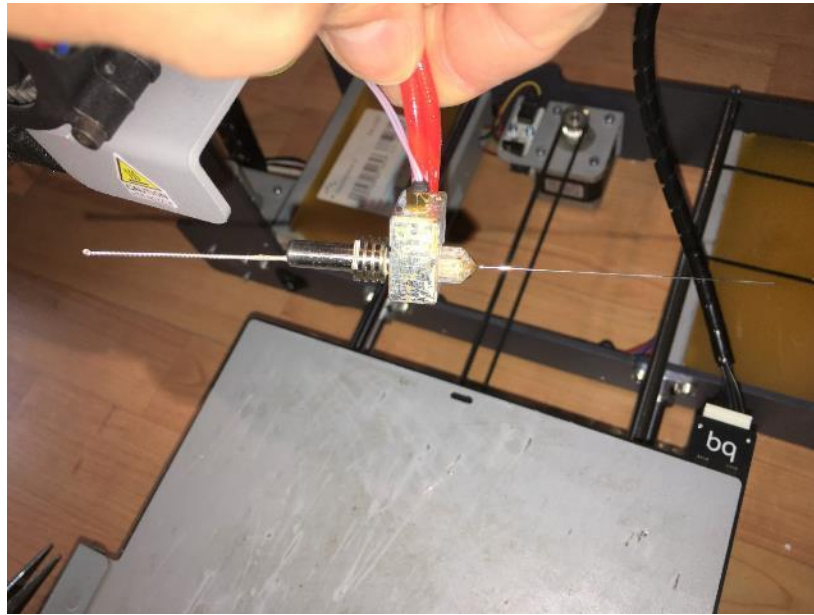


Figura: 5-36 Neteja boquera amb agulla d'acupuntura.

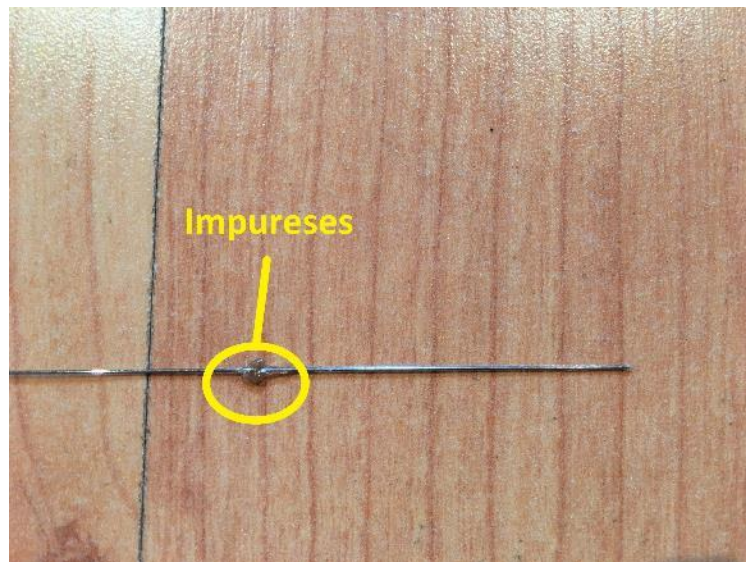


Figura: 5-37 Agulla d'acupuntura amb impureses.

5.8.3. CANVI DEL TUB DE PFTE

Quan el filament passa per la zona calenta (Figura: 5-18) del *Hotend*, perquè es dugui a terme la fusió, existeix una dilatació tèrmica del filament que augmenta la fricció entre les parets del extrusor (Figura: 5-38). Per tal d'evitar el fenomen els fabricants han col·locat un tub de PFTE (Figura: 11-35) en aquesta zona ja que fa d'aïllant entre el filament i les parets i a més redueix la fricció (Figura: 5-39).

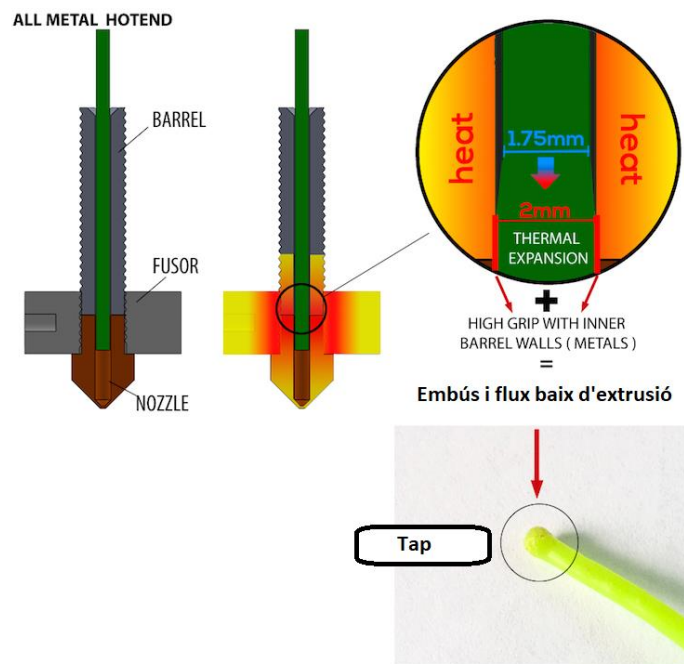


Figura: 5-38 Filament sense tub de PFTE [46].

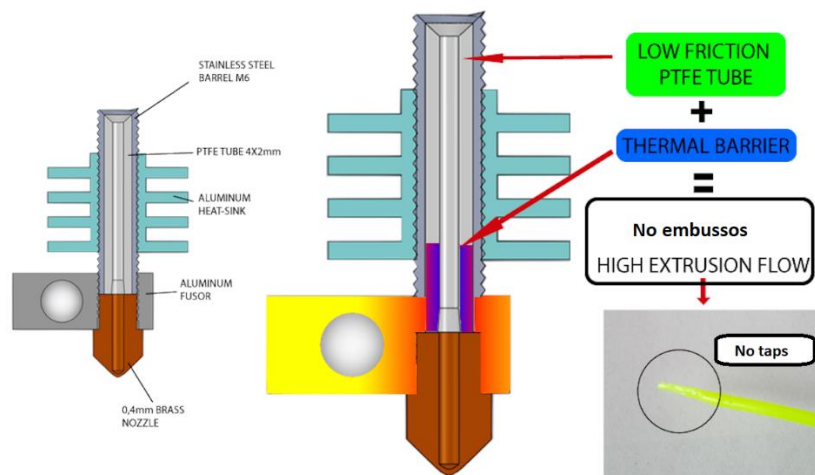


Figura: 5-39 Filament amb tub de PTFE [46].

Després d'un ús prolongat aquest tub s'ha de canviar perquè es contrau l'extrem (Figura: 5-40) que toca amb la boquera causant una obstrucció del filament.



Figura: 5-40 Contracció del tub de PTFE.

En la nostra impressora primer haurem d'afluixar el cargol que està darrera del ventilador del extrusor (Figura: 5-41) per tal de separar el *Hotend* i el *Heatcore*. Posteriorment escalfarem el *Hotend* a uns 80°C perquè el tub es pugui treure amb més facilitat. Amb unes pinces extraurem el tub (Figura: 5-42) i en col·locarem un de nou al mateix sentit que ens diu el fabricant.

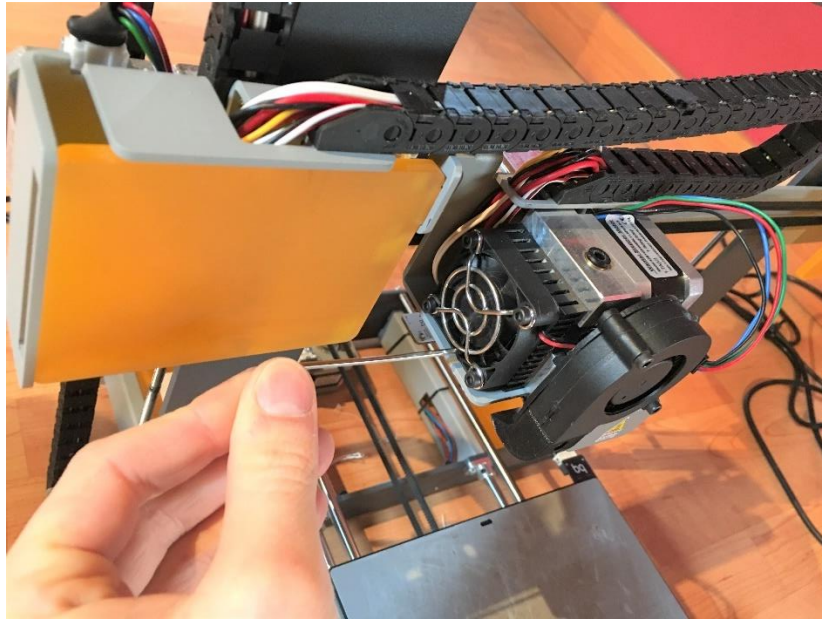


Figura: 5-41 Afluixament del cargol del *Hotend*



Figura: 5-42 Extracció tub PTFE.

5.8.4. PROBLEMES DURANT L'IMPRESSIÓ I RESOLUCIÓ

En aquest apartat desenvoluparem els problemes que hem tingut alhora d'imprimir les peces del nostre projecte.

- **Impressora produeix uns cops constants:** Quan la temperatura del ambient on estem és freda, el filament tarda més en fondre's al *Hotend*. Llavors les opcions que hi ha són augmentar la temperatura d'extrusió o reduir la velocitat d'impressió.

Aquests cops també poden ser deguts a un embús de filament en l'extrusor. Llavors hem de desmuntar el *Heatcore* per tal de treure el tap. El procés de desmuntatge del *Heatcore* es mostra en les figures del Annex III.

- **No surt material per la boquera:** Pot ser degut a un embús de la boquera i haurem de seguir el procés de la Figura: 5-36 en l'apartat *Neteja de la boquera d'extrusió*. També hi pot haver un trencament de fil al interior del *Hotend*. Llavors haurem de seguir el mateix procediment que el canvi del tub de PTFE i amb unes pinces extraurem el fil partit. En el cas que no funcioni haurem de desmuntar el *Heatcore* per extreure les altres restes de filament. En la Figura: 5-43 es mostra filament partit dins del tub de PTFE.

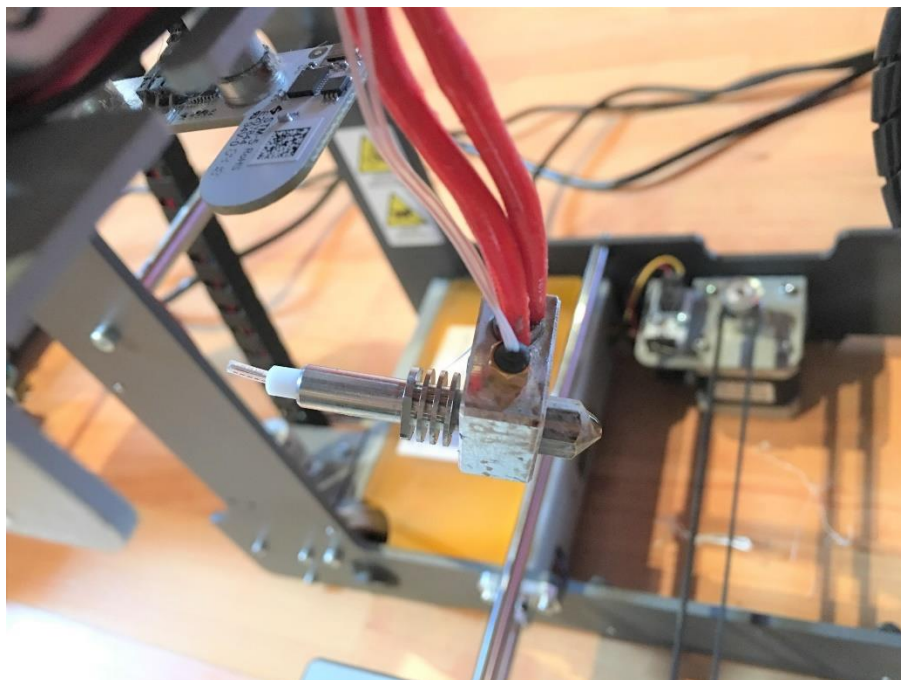


Figura: 5-43 Filament trencat.

- **Peces no s'adhereixen a la base:** El PLA és un material que no mostra dificultat per adherir-se en la base d'impressió. Un dels problemes podria ser degut a la baixa temperatura de la sala especialment per la nit. Tal i com es pot apreciar en

la Figura: 5-17 hem afegit una capa de cinta blava sobre la base de vidre d'impressió per tal de millorar l'adherència.

La falta d'adherència també pot ser deguda a una incorrecta anivellació de la base d'impressió. Llavors haurem de seguir l'apartat de *Calibratge Correcte* per tal de fer un correcte anivellament. Hem de pensar que aquest procés s'ha de fer molt bé i no importa la demora que tinguem en fer-lo.

- **Mala formació de la 1^a capa:** Les primeres capes d'una peça són les més importants ja que són els fonaments de la peça. Un exemple de mal formació de la primera capa seria la Figura: 5-44 on podem veure que les línies del perímetre no acaben d'estar juntes entre elles i no són del tot concèntriques. Això es degut a un mal anivellament de la base d'impressió i un offset elevat. Llavors haurem de repetir el procés del apartat *Calibratge Correcte* per resoldre el problema.

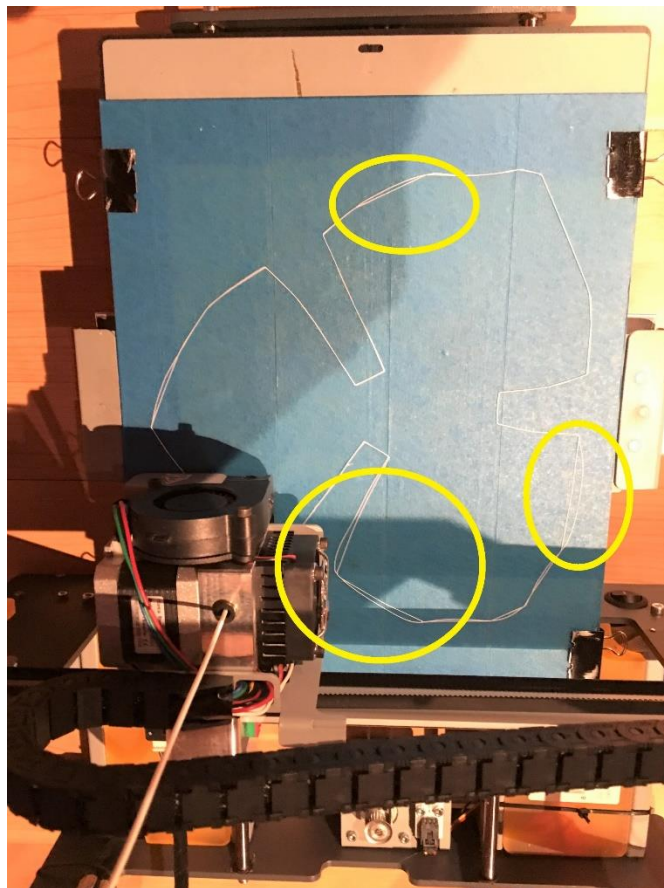


Figura: 5-44 1^a capa d'impressió incorrecte.

Si deixem la peça imprimint i no ens adonem d'aquesta mal formació pot succeir el mateix que en la Figura: 5-45 ja que la boquera no troba una base plana i ferma per dipositar el material.



Figura: 5-45 Impressió d'una peça amb base desnivellada.

- **Warping:** En les impressions d'algunes peces hem tingut el problema de que les seves cantonades s'han aixecat (Figura: 5-46) causant una deformació en la capa externa on s'ha de dipositar el material. Aquest fenomen s'anomena *Warping* i és degut a la contracció, ja que el material surt del extrusor a 200°C i entra en contacte directament amb la base que està a temperatura ambient, creant la deformació de la peça.



Figura: 5-46 Peça amb Warping.

La solució pot ser la instal·lació d'una base calefactada (Figura: 5-47) que es col·loca sota la base d'impressió de vidre i redueix el salt tèrmic del material quan es diposita sobre les altres capes. Nosaltres l'hem ajustat perquè tingui una temperatura de 60°C en les impressions de nit.

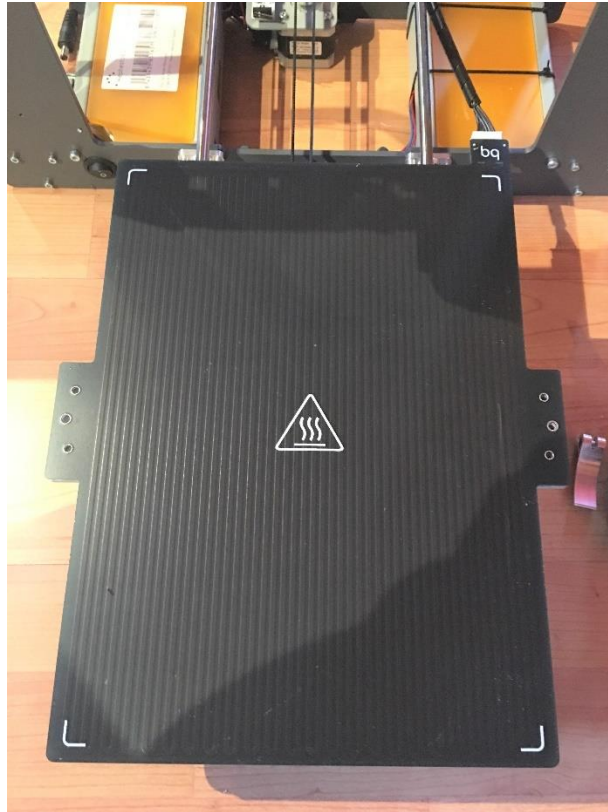


Figura: 5-47 Base calefactada.

- **Nusos en la bobina del filament:** Quan es manipula la bobina de material ja sigui per fer un trasllat de la impressora o quan el fil es trenca al interior del extrusor existeix la possibilitat de que el filament s'introdueixi per algun dels anells del bobinat i es produeixi un nus. Aquest fenomen impedeix que la bobina giri i que el filament no circuli per l'extrusor. Per tal d'aprofitar el bobinat haurem de desenrotllar el filament de la bobina i tornar-lo a bobinar amb l'ajuda d'un trepant tal i com es mostra en la Figura: 5-48



Figura: 5-48 Bovinament del filament de PLA.

- **Error en la lectura del sensor de temperatura:** Després de bastantes hores d'impressió vam trobar el missatge d'error de la Figura: 5-49. Si tornàvem a reprendre les impressions la lectura de temperatura de la boquera era molt oscil·lant i marca valors impossibles com 300°C.



Figura: 5-49 Error en la lectura de temperatura.

- Primer de tot vàrem desmuntar la sonda de temperatura NTC de 100K. Posteriorment vam mesurar el seu valor de resistència amb el multímetre

- (Figura: 5-50) i el valor obtingut era proper als 100K. Això significava que la sonda funcionava correctament.

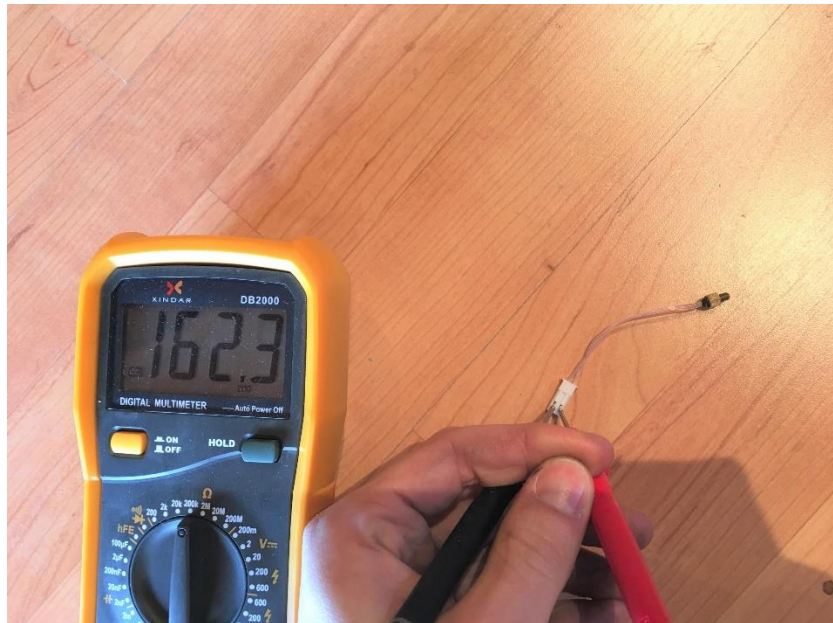


Figura: 5-50 Comprovació sonda NTC de 100K Ω .

-
- Aleshores vam buscar per la xarxa casos semblants que havien succeït a altra gent. El problema podria ser degut a que el cable que porta la informació cap a la placa controladora estigués partit, per culpa de la fatiga que suporta al llarg de moltes impressions.
- Així que vam extreure els cables de la impressora tal i com es mostra en la Figura: 5-51

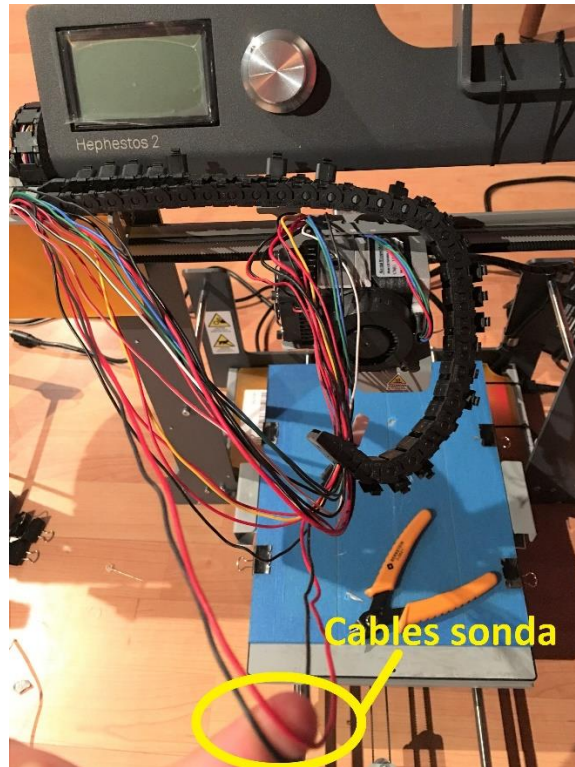


Figura: 5-51 Extracció de cables impressora.

Llavors varem substituir els dos cables de la sonda com es mostra en la Figura: 5-52

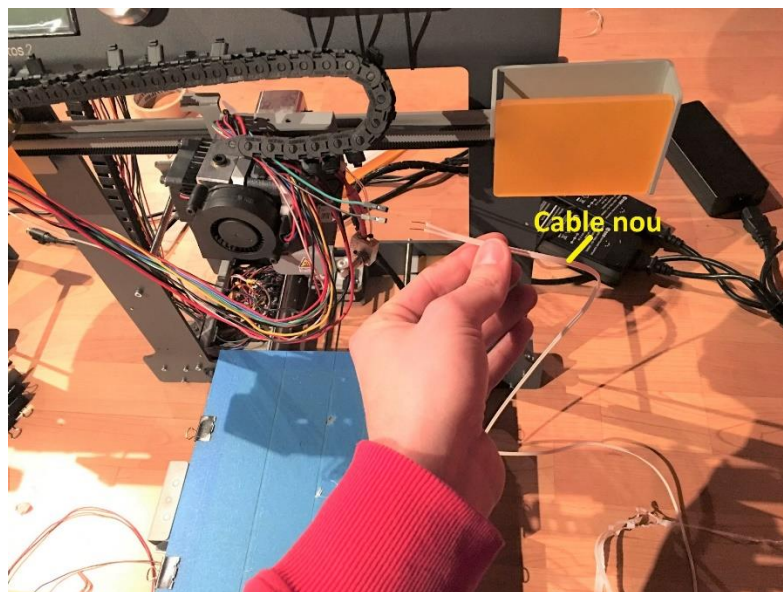


Figura: 5-52 Instal·lació de cable nou sonda de temperatura.

6. COMPONENTS ELECTRÒNICS I CIRCUÏTS

6.1. PLACA CONTROLADORA ARDUINO MEGA 2560 R3

Les característiques bàsiques de la placa Arduino Mega 2560R3 es mostren en la Taula 6-1. Si volem veure les funcionalitats de tots els pins de la placa de manera gràfica haurem de visualitzar la Figura: 11-13 dels Annex II.

Arduino està considerat com a *open-source project* que significa que a través d'uns permisos de llicència de codi obert tothom pot veure, utilitzar, modificar i distribuir un projecte determinat per alguna finalitat concreta [\[30\]](#).

El software/ hardware d'aquesta placa és molt accessible i es pot personalitzar de manera molt flexible. Les plaques *Arduino* poden llegir entrades (sensors) i escriure sortides (actuadors). Nosaltres manem el funcionament de la placa enviant un conjunt d'instruccions al microcontrolador que té incorporat. Per enviar les instruccions utilitzem un llenguatge de programació basat en *Wiring*.

Wiring és una plataforma que ens permet programar i generar prototips electrònics. Ens permet controlar una multitud de dispositius connectats a un microcontrolador. La IDE de *Wiring* està escrita en *Java* i utilitza un compilador GCC per C/C++. El llenguatge C/C++ fa que les operacions d'entrada i sortida siguin més fàcils. L'entorn de *Wiring* ens recorda a la d'*Arduino* ja que l'estructura del Sketch està formada per una funció *setup* i una altra *loop*. Alguns creadors de la plataforma *Wiring* també van crear la plataforma d'*Arduino* [\[28\]](#).

La IDE d'*Arduino* és simple i clara. El llenguatge d'*Arduino* es pot expandir amb biblioteques de C++.

La placa ofereix una varietat d'entrades digitals i analògiques, SPI i interfície serial. També sortides digitals i PWM.

Les 16 entrades analògiques tenen 10 bits de resolució i l'interval de mesura va dels 0 a 5V. Podem modificar els 5V per un altre valor, connectant un voltatge de referència al pin AREF.

Els 54 pins digitals funcionen a 5V i cada un d'ells conté una resistència de pull-up (desconnectada per defecte) de 20 a 50 K Ω .

Aquests pins digitals proporcionen altres funcions que utilitzarem:

- **Interrupcions externes:** Aquests pins disparen una interrupció quan la línia analitzada té un flanc ascendent, un flanc descendent o un canvi en el valor. Els pins d'interrupció disponibles són els següents:
 - Interrupció 0 → Pin digital 2
 - Interrupció 1 → Pin digital 3
 - Interrupció 2 → Pin digital 21
 - Interrupció 3 → Pin digital 20
 - Interrupció 4 → Pin digital 19
 - Interrupció 5 → Pin digital 18

Utilitzarem els pins d'interrupció pels canals dels encoders dels servomotors. Com que els pins digitals 20 i 21 els utilitzarem per la comunicació I2C pel display LCD les interrupcions 2 i 3 no es podran dur a terme. Llavors un dels encoders no tindrà activitat.

- **I2C:** Pins de comunicació I2C
 - SDA → Pin digital 20
 - SCL → Pin digital 21

Taula 6-1 Característiques bàsiques Arduino Mega 2560R3

Microcontrolador	ATmega2560
Tensió de funcionament	5V
Voltatge d'entrada (recomanat)	7 a 12V
Voltatge d'entrada (límits)	6 a 20 V
I/O Digitals	54 (14 d'elles són PWM outputs)
I Analògiques	16
Intensitat màx. I/O Pin	40mA
Memòria Flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocitat del rellotge	16 MHz

En la Figura: 6-1 es mostren de manera gràfica els components bàsics de la placa i les I/O. Si volem intercanviar informació entre la nostra placa Arduino i un altre dispositiu s'utilitza el protocol de comunicació UART en que la informació és transmesa o rebuda de manera asíncrona. Quan s'utilitza aquest protocol es transmet la informació per la línia TX i es rep per la línia RX. Els TX/RX leds s'encenen quan una de les línies està en funcionament.

En la placa hi ha incorporat un LED que es pot controlar amb el pin digital 13. També apareix el bus I2C, un sistema de comunicació que està present en una quantitat elevada de dispositius com ara acceleròmetres, brúixoles, displays etc. El bus I2C funciona amb 2 línies: la SCL o CLK (senyal de rellotge); la SDA (per enviar les dades)

Altrament la figura Figura: 6-1 [29] conté una entrada ICSP (In Chip Serial Programmer) que pot accedir directament a la memòria de programa *flash* del microcontrolador. D'aquesta manera podem gravar un programa des del PC al microcontrolador sense la necessitat d'utilitzar el port USB. Quan els projectes són grans i complicats pot ser necessari utilitzar un altre microcontrolador. Llavors és més econòmic comprar un altre micro per separat que una altra placa controlada. El micro vindrà de fàbrica sense cap programa carregat i li haurem de carregar el Bootloader (Gestor d'arrancada per poder fer funcionar els Sketchs d'Arduino) a través de l'entrada ICSP.

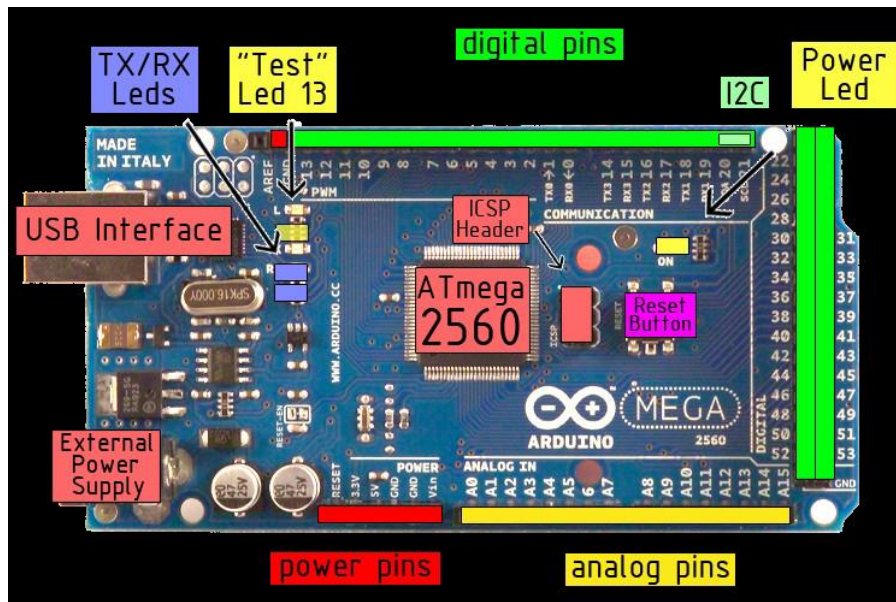


Figura: 6-1 [29] Components bàsics Arduino Mega 2560R3 de manera gràfica.

MICROCONTROLADOR ATmega 2560

Per entendre els pins del Microcontrolador i quins components del projecte hi hem connectat haurem de visualitzar les Figura: 11-10, Figura: 11-11 i Figura: 11-12 dels annexos.

A continuació mostrarem les característiques principals del microcontrolador ATmega 2560 [31]:

- Microcontrolador AVR de 8bits
- Arquitectura RISC:
 - 135 instruccions
 - 32 registres de 8 bits de propòsit general
 - 16 MIPS (Milions d'instruccions per segon) a 16 MHz
- Segments de memòria:
 - 256 KB memòria de programa flash
 - 4 KB EEPROM
 - 8 KB SRAM

Cicles d'escriptura/lectura:

- 10.000 Flash
- 10.000 EEPROM
- Retenció de dades:
 - 20 anys a 85°C
 - 100 anys a 25°C

Un mateix pin pot tenir múltiples funcions o noms.

Els pins del nostre microcontrolador es poden classificar com:

- Pins d'utilitat fixa:
 - VCC, GND, RESET
 - XTAL1, XTAL2 → Entrada/Sortida del cristall oscil·lador.
 - AVCC → Alimentació dels convertidors ADC connectada a VCC.
 - AREF → Voltatge de referencia dels convertidors ADC.
- Pins de propòsit general:
 - Ports A,B,C,D,E,G,H,J,L
 - Ports F i K → Per les entrades analògiques
 - Tots els ports son de 8 bits excepte el G (6 bits)

En la Figura: 6-2 es mostra la connectivitat entre els diferents perifèrics, memòria, I/O i busos. La CPU es troba al centre i executa les instruccions.

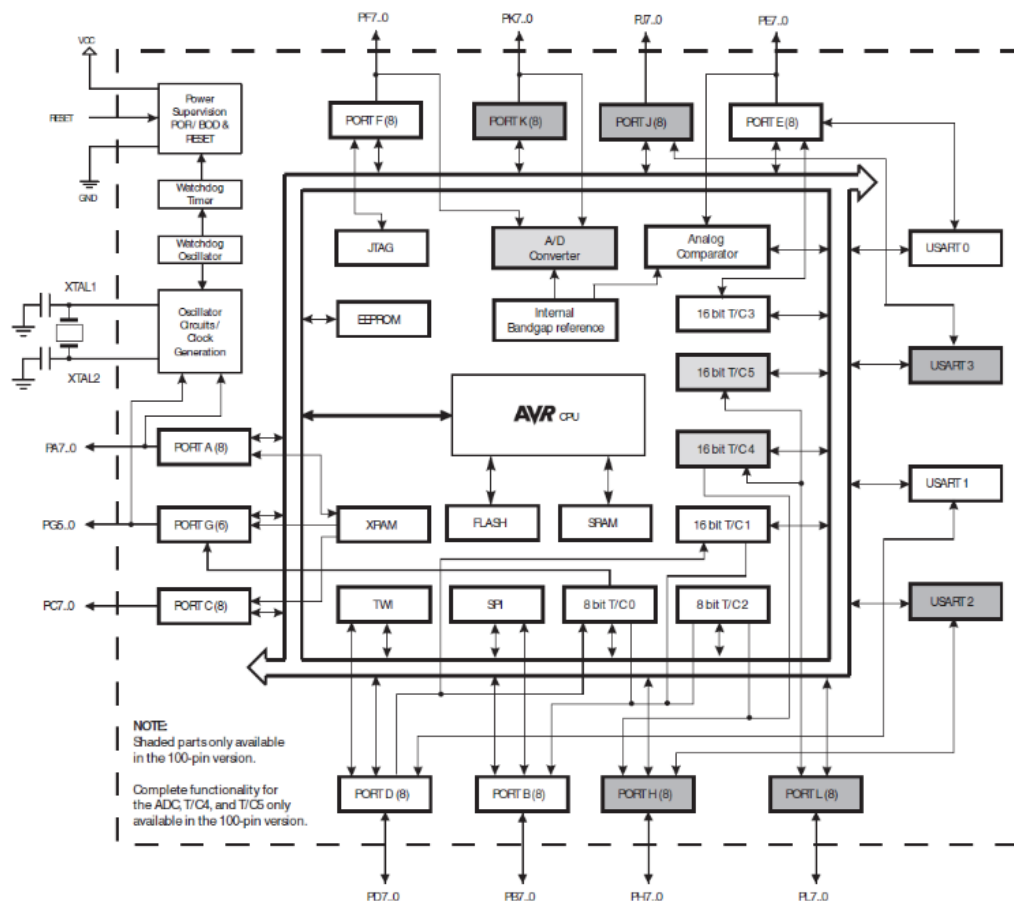


Figura: 6-2 [32] Connectivats ATmega 2560.

Un dels registres importants del microcontrolador és el registre d'estat. Emmagatzema el bit de signe quan es fa una operació, el flag de carry, el flag d'overflow, etc. Utilitzarem aquest registre per saber quan hem d'activar les funcions d'interrupció al programa del Delta. En la Figura: 6-3 podem veure que cada bit del registre d'estat ens dona una informació concreta.

The AVR Status Register – SREG – is defined as:

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x3F (0x5F)	I	T	H	S	V	N	Z	C	SREG
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura: 6-3 Registre d'estat.

En la Figura: 6-4 podem apreciar els 32 registres de propòsit general que utilitza el compilador. Des del registre 26 al 31 obtenim els registres X,Y,Z que estan formats per 2 registres de 8 bits cadascun. Els XYZ emmagatzemen l'adreça on hi ha emmagatzemada una

variable o instrucció en la memòria. Cada registre es capaç d'adreçar 64.000 posicions de memòria SRAM.

	7	0	Addr.	
		R0	0x00	
		R1	0x01	
		R2	0x02	
		...		
		R13	0x0D	
		R14	0x0E	
		R15	0x0F	
General		R16	0x10	
Purpose		R17	0x11	
Working		...		
Registers		R26	0x1A	X-register Low Byte
		R27	0x1B	X-register High Byte
		R28	0x1C	Y-register Low Byte
		R29	0x1D	Y-register High Byte
		R30	0x1E	Z-register Low Byte
		R31	0x1F	Z-register High Byte

Figura: 6-4 Registres de propòsit general.

El nostre microcontrolador també farà ús dels registres de control I/O i es mostren a continuació:

- **DDRx** → Fa que el port x (x pot ser qualsevol registre dels anteriorment esmentats) sigui de sortida o d'entrada. Els bits del port que siguin 0 seran pins d'entrada. En el cas que siguin 1 seran pins de sortida. Exemple: `DDRB= 0b00000101`, els pins 0 i 2 del port B seran de sortida.
- **PORTx** → S'utilitza per modificar valors dels pins (bits) de sortida del port x. Exemple: `PORTB=0b11111010`
- **PINx** → Fa una lectura del port x i es pot emmagatzemar en una variable. Exemple: `J= PINB;`

6.2. SERVOMOTORS

En l'elecció dels servomotors ens basarem en l'anàlisi estàtic del moment que explicarem en l'apartat 6.3.1.

6.2.1. ANÀLISI ESTÀTIC DEL MOMENT

L'anàlisi consisteix en col·locar la base inferior en el seu punt més llunyà. Les coordenades (X,Y,Z) del efector seran (114, 0, -280)mm.

Hem simulat el moviment del efector final amb el programa Solidworks ja que ens permet representar els braços i les bases en 3 dimensions. Després hem pogut mesurar les longituds necessàries projectades en un pla tal i com es mostra en la Figura: 6-5.

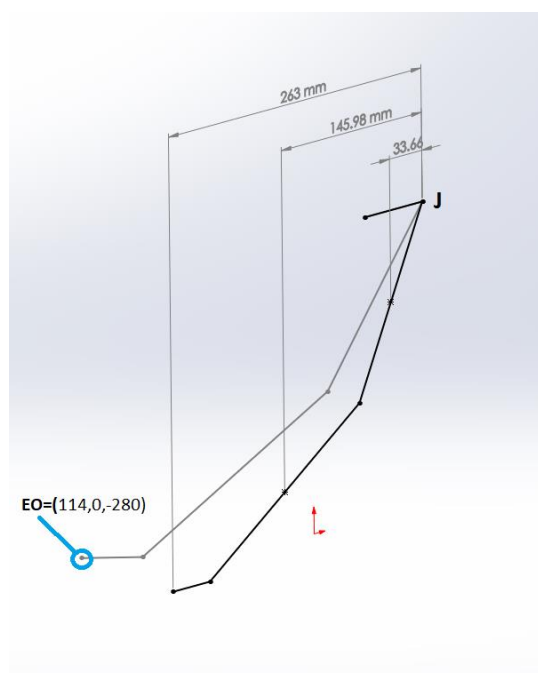


Figura: 6-5 Moviment efector final amb Solidworks.

Les longituds mínimes necessàries per calcular els moments que generen els braços i base inferior al punt F són a, b, i c (Figura: 6-6). Aquestes longituds van del centre de masses de cada braç i base inferior al punt F.

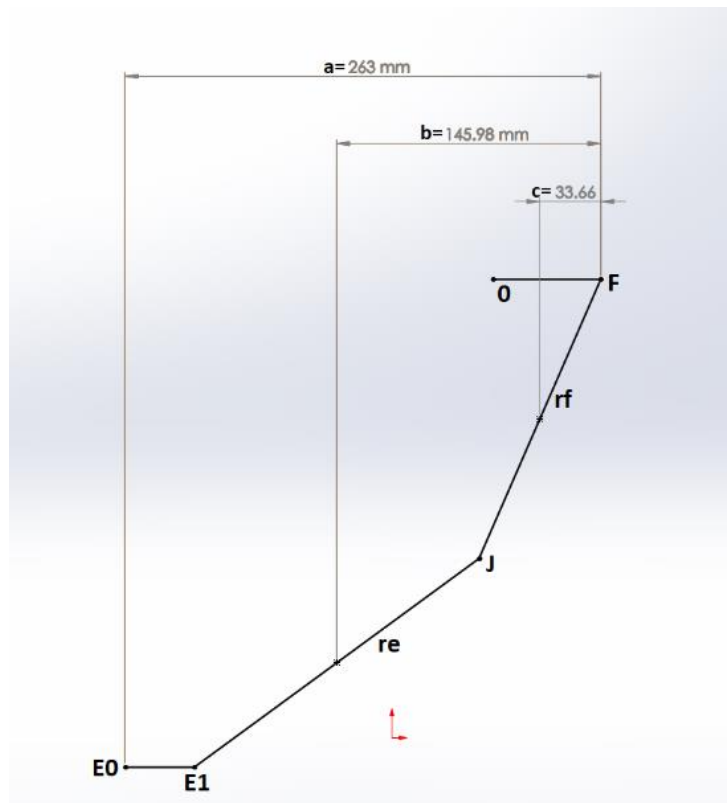


Figura: 6-6 Distàncies al punt F.

Per fer els càlculs necessitem calcular la massa dels braços i la base inferior.

Per calcular la massa dels braços ens basarem amb el programa d'impressió 3D Ultimaker Cura ja que les peces tenen un farciment del 30% tal i com es mostra en la Figura: 6-7. La massa de la base inferior està calculada al subapartat *Base inferior* dins del apartat *Components Mecànics*.

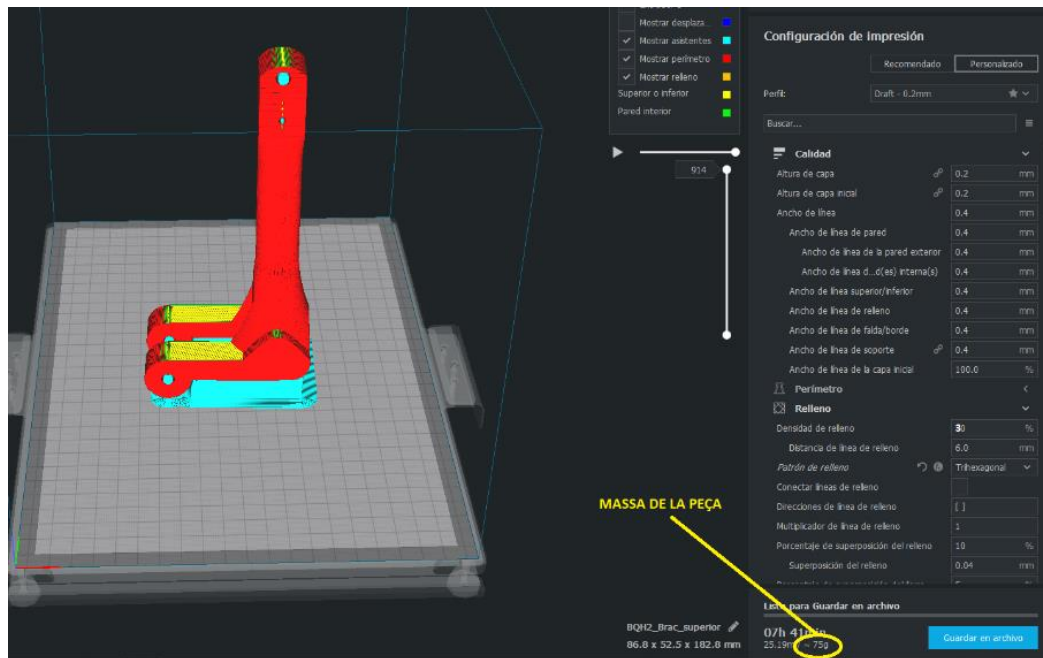


Figura: 6-7 Massa base superior.

A més afegirem una petita càrrega de 200 grams a la base inferior. Llavors degut a la simetria dels 3 conjunts de braços dividirem aquests 200g entre 3. D'aquesta manera la càrrega quedarà reduïda a 66g per fer els càlculs.

Per calcular el moment exercit sobre un dels motors en el punt J farem us de l'Equació 6-1.

$$M = \sum_{i=1}^n l_i \cdot F_i$$

Equació 6-1

A on:

M és el moment que haurà d'exercir el servomotor per moure el conjunt braç superior - braç inferior – base inferior. Les seves unitats seran en *kg·cm* ja que són les que venen en la majoria de fulls de característiques dels servomotors.

l_i serà la longitud més curta des del centre de masses de cada component del conjunt al punt **J** en *cm*.

F_i serà la força de gravetat exercida sobre cada component en el seu centre de masses en N .

Els paràmetres que necessitarem seran:

- $a = 26.3 \text{ cm}$
- $b = 14.6 \text{ cm}$
- $c = 3.4 \text{ cm}$
- M_{bs} = Massa braç superior = 0.075kg
- M_{bi} = Massa braç inferior = 0.085kg
- M_i = Massa base inferior = 0.026kg
- C_{bi} =Càrrega a la base inferior =0.066kg

$$M = g(a \cdot (M_i + C_{bi}) + b \cdot M_{bi} + c \cdot M_{bs}) \quad \text{Equació 6-2}$$

$$M = 26.3 \cdot (0.026 + 0.066) + 14.6 \cdot 0.085 + 3.4 \cdot 0.075 = 3.92 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Seleccionarem un servomotor que treballi a un 50% del seu moment nominal. El calcularem amb l'Equació 6-3.

$$x \cdot \frac{50}{100} = 3.92 \quad \text{Equació 6-3}$$

$$x = \frac{3.92}{0.5} = 7.84 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Haurem d'utilitzar un servomotor que tingui un moment superior a $7.84 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ en cada braç superior.

6.2.2. SEL·LECCIÓ DEL SERVOMOTOR

El nostre motor ideal haurà de tenir com a mínim un moment de $7.84 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ i una velocitat elevada. Una opció seria utilitzar motors de pas. L'inconvenient principal és que la seva relació $\frac{\text{pes}}{\text{consum energia}}$ és elevada i a més el control de gir d'aquests motors es més complicat que els servomotors ja que necessitem uns *drivers* per controlar-los.

Buscant pel mercat online vam trobar uns servomotors de $20 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ de massa reduïda i destinats al modelisme. Les seves característiques es troben al ANNEX VI

6.2.3. FUNCIONAMENT DEL SERVOMOTOR

Els servomotors són dispositius semblants als motors de corrent continua i tenen la capacitat d'ubicar-se en qualsevol posició dintre del seu rang d'operació mantenint-se estables. Es controlen a través d'un pols d'amplada variable (PWM) a una freqüència constant que sol ser de 50Hz (Figura: 6-8).

La posició neutral d'un servo és aquella en que el dispositiu té la capacitat de girar els mateixos graus ja sigui en sentit horari o antihorari. La posició neutral s'aconsegueix amb un pols de $1.5\mu\text{s}$ tal i com es mostra en la Figura: 6-9.

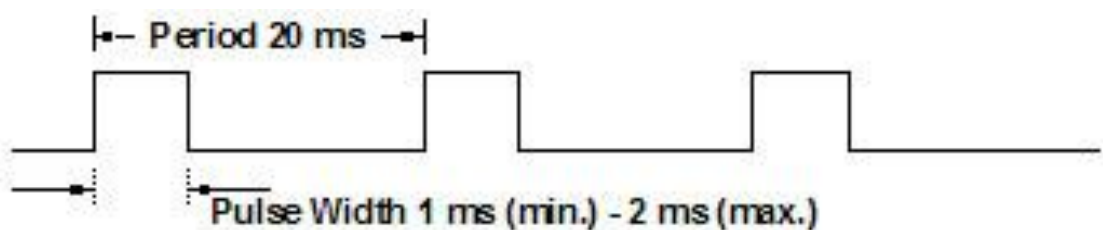


Figura: 6-8 [34] Rang ample de pols PWM del nostre servomotor.

La duració del ample de pols determinarà l'angle girat. Quan el servo rep el pols gira en l'angle corresponent i és queda en aquesta posició. Si apliquem una força externa el servomotor oposarà una resistència per mantenir la posició que hem assignat.

Quan el pols de control és inferior al neutral de 1.5 ms el servo girarà en sentit horari. En cas que sigui superior a 1.5 ms girarà en sentit antihorari tal i com es mostra en la Figura: 6-9

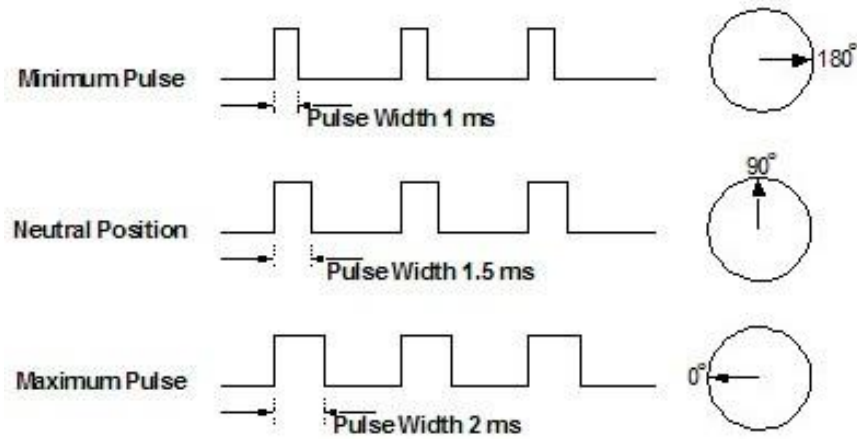


Figura: 6-9 [34] Ample de pols – Angle servomotors.

La velocitat de gir del servomotor està determinada pel voltatge d'alimentació. Quan més voltatge hi hagi més velocitat angular hi haurà. Els fabricants de servomotors solen donar aquesta velocitat calculant el temps en segons en que triga a girar 60°.

El servomotor està compost per components electromecànics i electrònics tal i com es mostra en la Figura: 6-10.

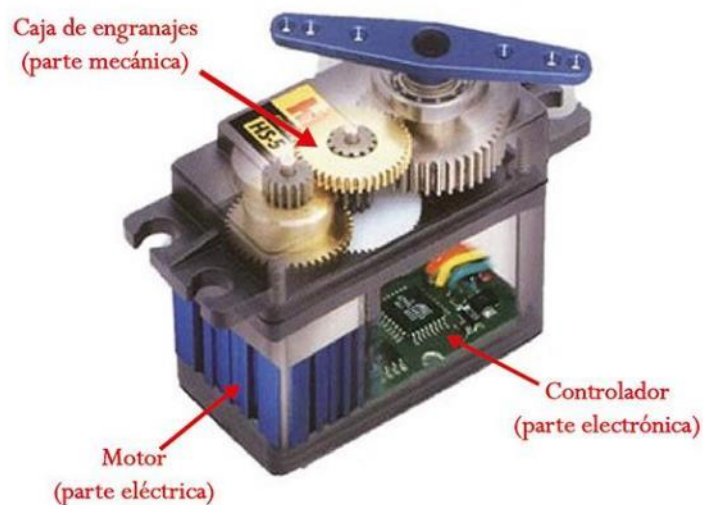


Figura: 6-10 [33] Elements mecànics i electrònics servo.

En la Figura: 6-10 podem observar una caixa d'engranatges que és un reductor de velocitat del motor DC que conté el servo. D'aquesta manera s'aconsegueix que a velocitats inferiors el parell del servomotor pugui augmentar. També tenim el circuit de control que controla la posició del motor. En la Figura: 6-11 [33] apareix un potenciòmetre que s'encarrega de mesurar la posició real del eix del servomotor. El controlador és un comparador que fa la diferència entre la senyal de control PWM que li enviem i la senyal del potenciòmetre. Llavors l'electrònica envia la intensitat de corrent necessària al motor DC perquè s'ajusti en la posició desitjada.

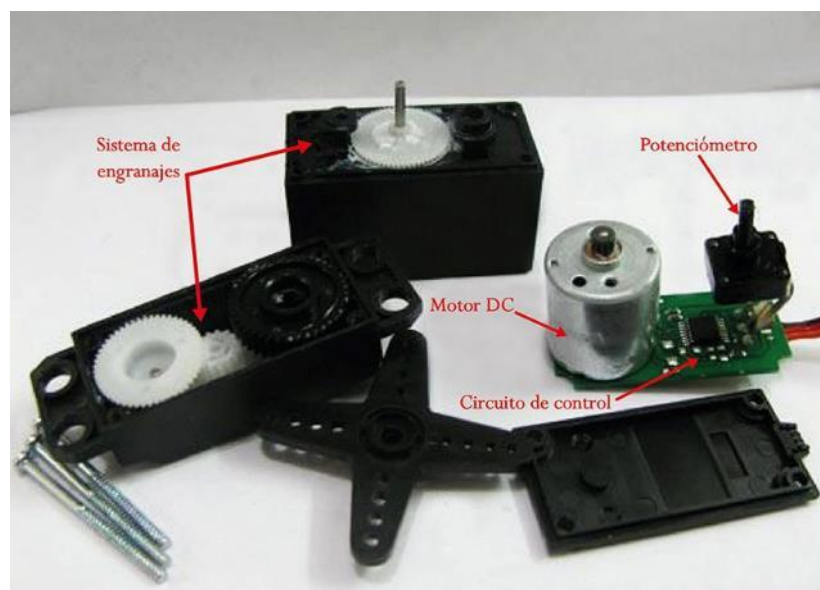


Figura: 6-11 [33] Desmuntatge servomotor.

6.2.4. CALIBRACIÓ SERVOMOTORS

Les funcions de la cinemàtica inversa del nostre programa ens donaran l'angle dels servomotors en graus. Ens interessa obtenir un factor de conversió que ens permeti passar els graus a l'ample de pols corresponent a un angle concret.

Primer de tot simularem la senyal de control amb un generador de senyals (Figura: 6-12) i anirem modificant el paràmetre *duty cycle* . Els paràmetre que donarem seran:

Tipus de senyal → Polsos

Offset → 2,3V

Freqüència · → 50Hz



Figura: 6-12 Simulació PWM amb generador de senyals.

Lavors mesurarem l'ample de pols de la senyal de control del servomotor a un angle 0° i 180° .

En la Figura: 6-13 podem observar el servomotor en la seva posició inicial(0°).

En la Figura: 6-14 podem veure l'ample de pols $390.4(\mu s)$ quan el servo està a 0° .

En la Figura: 6-15 podem observar el servomotor en la seva posició final(180°).

En la Figura: 6-16 podem veure l'ample de pols $2422(\mu s)$ quan el servo està a 180° .



Figura: 6-13 Servomotor a 0° .



Figura: 6-14 Ample de pols PWM amb angle servo 0°.

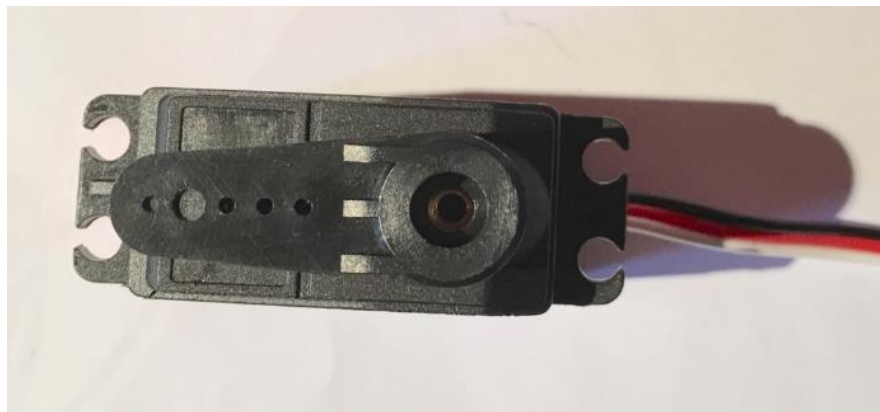


Figura: 6-15 Servomotor a 180°.

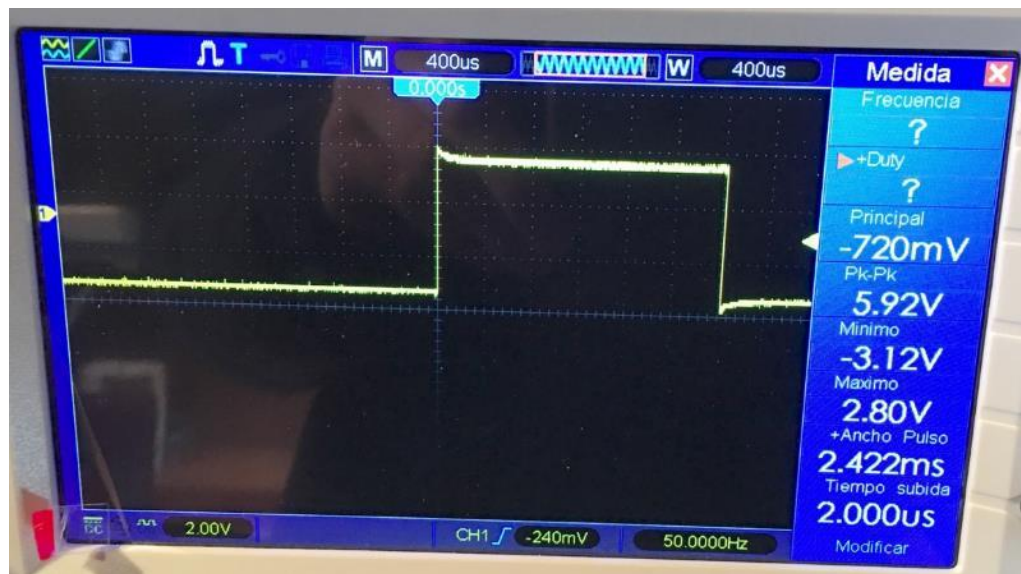


Figura: 6-16 Ample de pols PWM amb angle servo 180°.

La Taula 6-2 mostra de manera resumida l'ample de pols corresponent a cada angle de gir del servomotor.

Taula 6-2 Ample de pols corresponent a angle servo.

Angle (°)	Temps (µs)
0	390.4
180	2422

A partir de la Taula 6-2 podrem calcular el factor de conversió necessari per fer la conversió del angle *theta* de les funcions cinemàtiques a l'ample de pols corresponent.

$$ample\ pols\ (PWM) = 390\mu s + \frac{(2422 - 390)\mu s}{180^\circ} \cdot angle_servo \quad \text{Equació 6-4}$$

En l'Equació 6-4 podem observar la variable *angle_servo* que és l'angle de gir del servomotor. Les funcions de cinemàtica no ens donaran l' *angle_servo* sinó que la variable *theta*. Si volem que la nostra *theta* tingui un angle negatiu màxim de -50° haurem de sumar 50° a la variable *angle_servo* tal i com es mostra en l'àrea taronja de la Figura: 6-17

En la Figura: 6-17 podem observar de color blau el rang d'angle positiu que podrà assolir la variable *theta*. Aquest rang serà de 130° ja que el rang del servomotor és de 180°. Si fem l'operació (180°-50°)=130° justifiquem el rang positiu de *theta*. Així que l'àrea taronja és el rang negatiu de *theta*.

Els eixos de color verd X'Y' corresponen al sistema de referència de *theta*. En canvi els eixos negres XY corresponen al sistema de referència del angle del servomotor.

Si col·loquem l'eix 0 *Theta* en la posició horitzontal podrem apreciar que els angles *theta* estan en sentits oposats als que desitgem tal i com es mostra en la Figura: 6-18. Si volem que els angles *theta* estiguin en el rang que necessitem (Figura: 6-19) haurem de sumar 180° a tots els angles.



Figura: 6-17 Rang positiu i negatiu de θ .

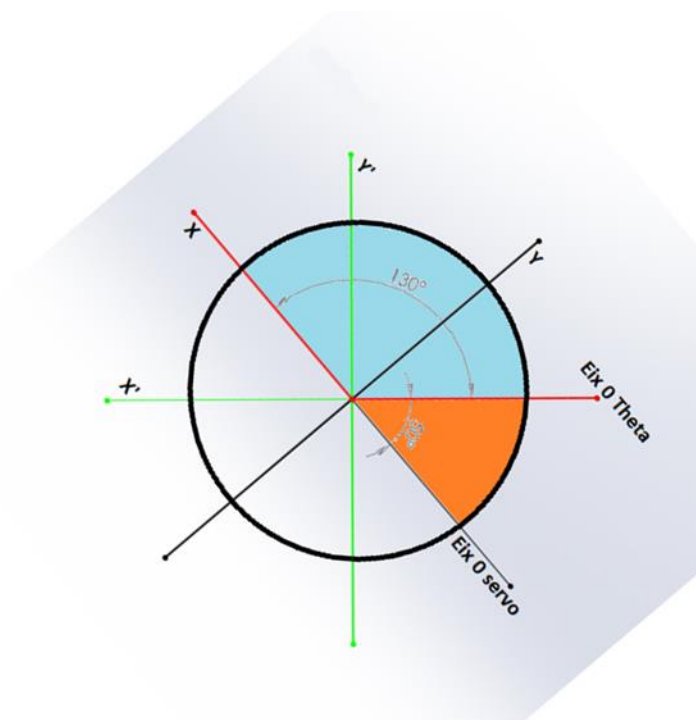


Figura: 6-18 Eix $\theta=0$ en horitzontal.

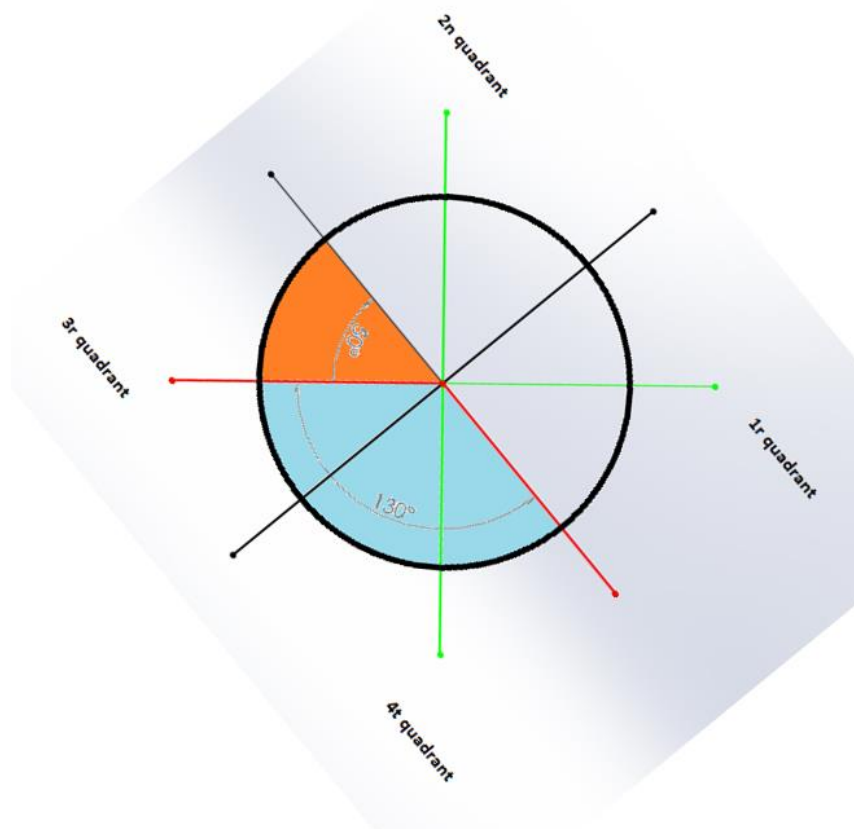


Figura: 6-19 Angles Figura: 6-18 desplaçats 180°.

6.3. FONT D'ALIMENTACIÓ

En aquest apartat ens hem basat en la font bibliogràfica [51]

Per saber quina font d'alimentació haurem de seleccionar farem una taula dels components electrònics emprats en el projecte (Taula 6-3) amb el seu consum.

Taula 6-3 Voltatge i intensitat dels components projecte.

Component	Quantitat	Voltatge (V)	Intensitat (A)
Atmega 2560	1	5	0.05
Servomotor LD-20MG	3	8	1
LCD 2004	1	5	$I_F + I_{DD} + I_{F1} = 0.392$
Resistències pull up encoders	1	5	0.3

Les intensitats I_F , I_{DD} i I_{F1} del LCD 2004 es troben al subapartat LCD2004 Module dins del ANNEX VI.

En la Taula 6-4 farem una classificació dels components segons el voltatge d'alimentació i calcularem les intensitats totals. Després calcularem les potències corresponents a cada voltatge i les sumarem. Els servomotors tenen un voltatge d'alimentació de 8V però provenen d'una font de 12V que s'ha convertit a 8V. Llavors considerarem que els servos pertanyen al grup de 12 V.

Donarem un factor de carrega de 1.75 a les intensitats totals per tenir una seguretat que la font d'alimentació no es quedarà curta. Aplicarem el factor només a les intensitats corresponents als 12V ja que la font d'alimentació serà únicament pels components de 12V. En el cas de l'Arduino Mega el pin de 5V és capaç de proporcionar una intensitat de 800mA si l'alimentem a través de la connexió Jack amb un altre font. Aleshores per la connexió Jack utilitzarem un transformador AC-DC que convertirà l'energia elèctrica a 9V i donarà una intensitat màxima de 1A. Si apliquem el factor de càrrega a les intensitats de 5V superarem els 800mA que és capaç de donar el pin de 5V. Podem observar en la Taula 6-4 que els components de 5V necessitaran 0.742 A.

Taula 6-4 Consum corresponent a cada Voltatge

Voltatge (V)	Corrent total (A)	Corrent amb factor de càrrega (A)	Potència (W)
5	0.742	-	3.71
12	3	5.25	63

Així que la font d'alimentació que necessitem haurà de tenir una potència de com a mínim 63W. També haurà de ser capaç de suportar els 3A.

Nosaltres hem elegit una font ATX model *Tacens Anima APII500* capaç de donar una intensitat màxima de 26A a 12V

6.4. ENCODERS SERVOMOTORS

Els encoders també anomenats codificadors rotatoris ens permeten saber la posició d'un eix (angle de gir) o també la velocitat angular.

Per saber la posició de cada braç superior o l'angle θ hem utilitzat 3 encoders incrementals.

L'encoder incremental està format per un disc amb uns petits forats separats de manera uniforme i concèntrics al eix (Figura: 6-20). Perpendicular a una cara del disc hi ha un díode que emet una llum que passa pels forats. Llavors en l'altre cara del disc, en la zona on hi ha els forats, hi ha un fotoreceptor que capta la llum del led i emet un pols cada vegada que rep un feix de llum. Llavors amb un comptador extern (Figura: 6-20) es compten els polsos a mida que l'eix del encoder gira. D'aquesta manera podrem saber la posició girada si sabem la quantitat de forats que hi ha en 1 volta o 360° del disc. El disc del nostre encoder tindrà uns 600 forats.

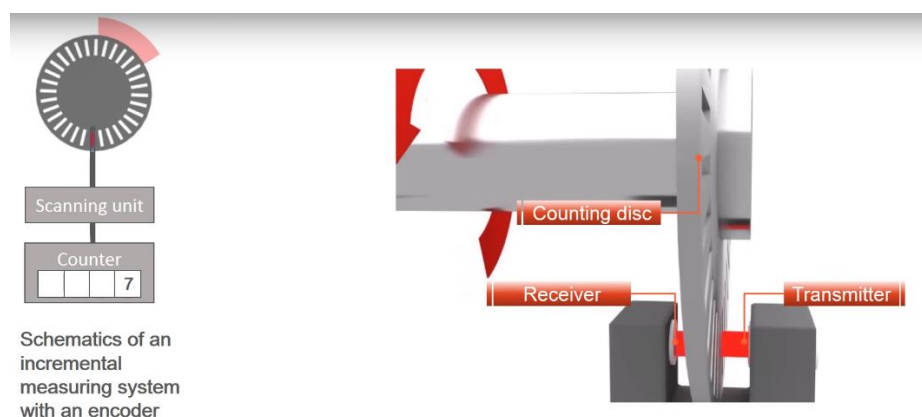


Figura: 6-20 Components bàsics encoder [47].

Per saber el sentit de gir del eix del encoder s'ha foradat el disc amb el mateix nombre de forats a una equidistància menor (a un radi més petit del disc) i més junts entre ells. D'aquesta manera s'obté el canal A i el B. Llavors tindrem un díode i un fotoreceptor per cada canal.

Aleshores s'analitzen els flancs descendents de cada canal. Comparem quin flanc descendent de cada canal es produeix abans. En el cas de la Figura: 6-21 si primer es produeix un flanc

descendent en A i després un altre en B significarà que l'eix del encoder girarà en sentit horari. Si l'ordre dels flancs és oposat, el sentit serà antihorari.

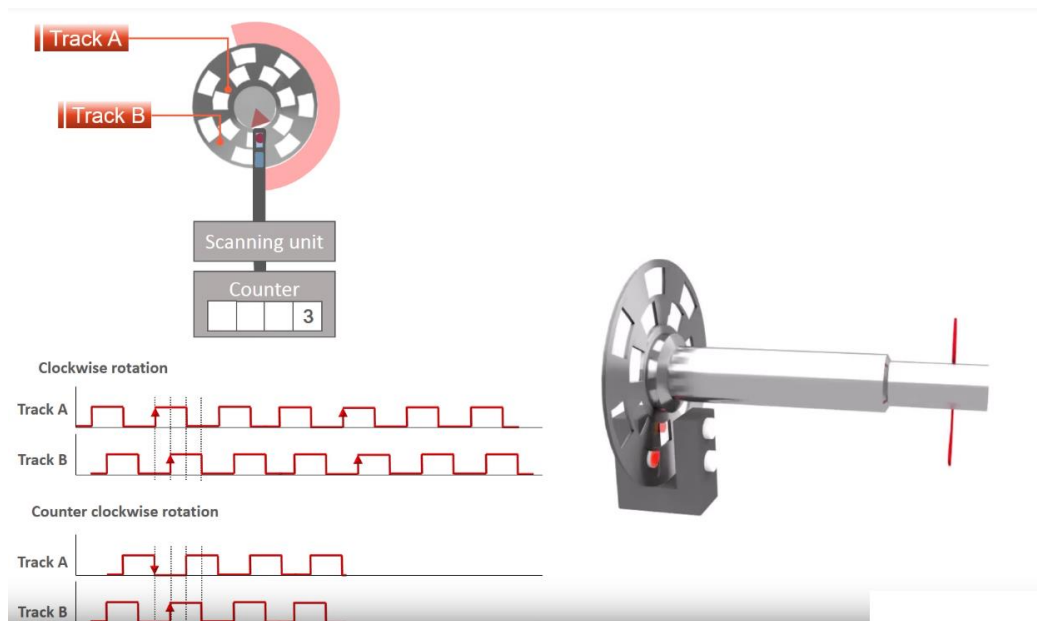


Figura: 6-21 Canals A i B encoder [47].

Les sortides dels canals A i B són de col·lector obert tal i com es mostra en la Figura: 6-22.

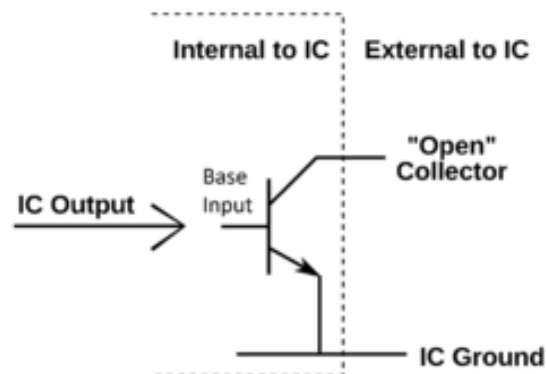


Figura: 6-22 Sortida amb col·lector obert [48].

Llavors aquest transistor és com l'interruptor de la Figura: 6-23. Es necessita una tensió al born del col·lector ja que la sortida estaria a massa o a l'aire. Per tant haurem de connectar-hi una resistència de Pull-up alimentada amb la mateixa tensió en que treballarà la nostra placa de control (5V) tal i com es mostra en la Figura: 6-24. La nostra placa *Arduino* ja conté les resistències de Pull Up de 20kΩ que activarem per software.

La sortida amb col·lector obert és activa per nivell baix. Això significa que quan tinguem una tensió baixa en la base del transistor NPN al col·lector hi haurà els $(5 - V_{Rpull})$ Volts. En el cas que en la base hi hagi un nivell alt el transistor es tancarà i connectarà el col·lector a un nivell baix (GND) .

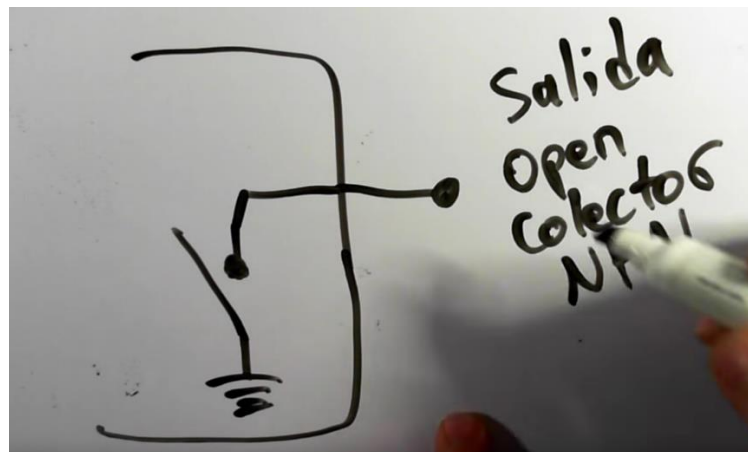


Figura: 6-23 Col·lector obert amb un interruptor [49].

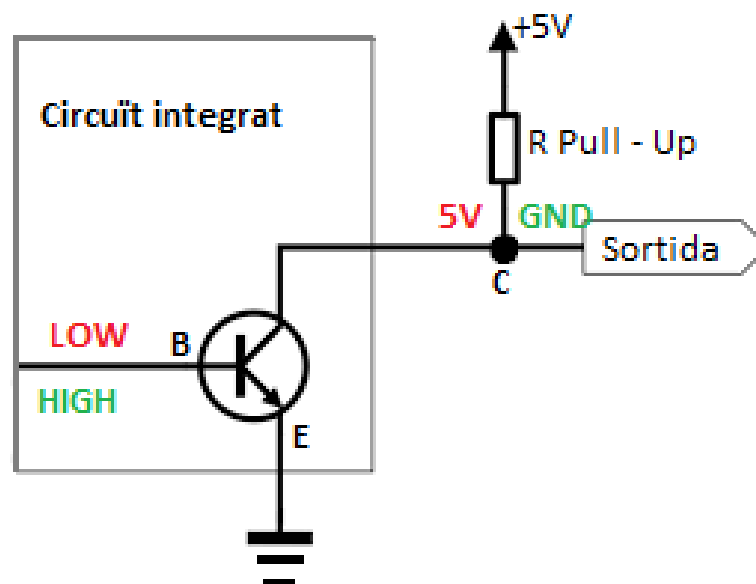


Figura: 6-24 Col·lector amb resistència de Pull-up.

6.1. SENSOR DE CORRENT ACS712

Aquest subapartat es basa en informació de la font [\[52\]](#)

Per tal de mesurar la intensitat que circula per cada servomotor fem ús del sensor de corrent ACS712. Pel seu interior hi ha un sensor d'efecte Hall que mesura el camp electromagnètic que es genera quan circula corrent per la línia que s'està mesurant.

La sortida del sensor ens proporciona un voltatge que és proporcional a la corrent mesurada.

Així que el nostre ACS712 serà el de 30A, es a dir, que el seu rang de mesura és de $\pm 30A$ i presentarà una sensibilitat de 66mV/A.

Quan el sensor mesuri 0A la seva sortida serà de 2.5V de manera que si s'incrementa la intensitat el voltatge incrementarà d'acord la seva sensibilitat.

Podem representar la relació entre el voltatge de sortida i l'intensitat mesurada com una recta.

L'equació de la recta de relació és la següent:

$$V = m \cdot I + 2.5 \quad \text{Equació 6-5}$$

A on:

m és el pendent de la recta. Equival a la sensibilitat del sensor.

V és el voltatge obtingut en la sortida del sensor.

I és la intensitat que volem mesurar. Llavors haurem d'aïllar I per obtenir l'Equació 6-6

$$I = \frac{V - 2.5}{\text{Sensibilitat}} \quad \text{Equació 6-6}$$

L'Equació 6-6 serà la que utilitzarà el nostre programa per trobar la intensitat mesurada.

6.2. MÒDUL RELÉ KY-019

Aquest subapartat es basa en informació de la font [\[55\]](#)

Utilitzarem un relé per controlar l'alimentació dels servomotors a través d'*Arduino*.

Un relé és un element que s'utilitza per gestionar circuits d'intensitat i voltatge elevats. Es tracta d'un interruptor que es pot encendre i apagar a través d'un circuit de potència reduïda. Llavors el funcionament d'un relé es basa en una bobina que atrau una petita peça metàl·lica anomenada *armadura*. Quan per l'interior de la bobina circula un petit corrent es genera un camp electromagnètic que produeix l'atracció del extrem de la bobina i l'armadura com si fos un imant. En el cas que no hi hagi corrent per la bobina, l'armadura sempre estarà connectada al pin NC (Normalment tancat) i quan hagi corrent (activació del relé) l'armadura es connectarà al pin NO (Normalment obert). En la *Figura: 6-25* es mostren els components principals d'un relé.

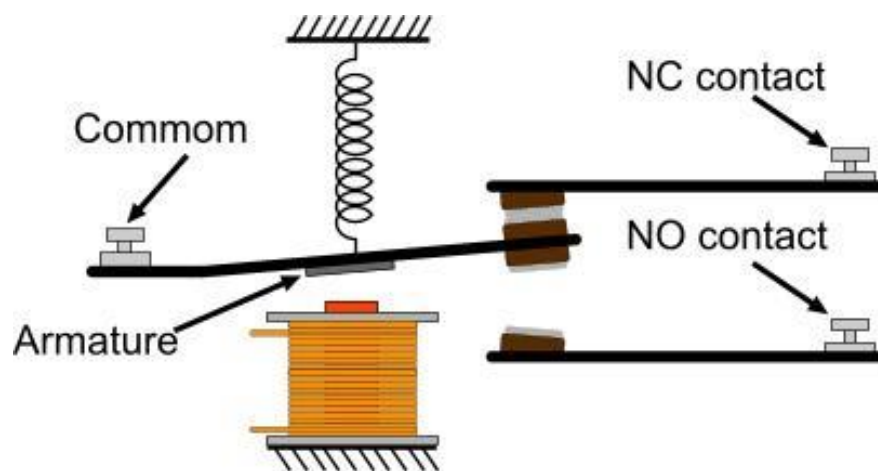


Figura: 6-25 Principals parts d'un relé.

Nosaltres hem elegit el mòdul relé KY-019 usat comunament en la comunitat *Arduino*. Les característiques es mostren en l'ANNEX VI.

Aleshores ens fixarem en la intensitat màxima i voltatge màxim en DC que és capaç de controlar que són 10A i 30VDC respectivament. No sobrepassarem aquests valors i aquest serà el relé adequat.

En quant al tipus de contacte del relé utilitzarem el NC ja que la major part del temps tindrem el circuit tancat. L'obrirem si per algun dels servomotors circulés una intensitat superior a 1A. El relé s'activarà quan algun dels braços toqui l'estructura de sustentació del robot o en el cas que hi hagi algun obstacle que impedeixi el moviment. Quan alguna d'aquestes

possibilitats és compleixi, pels servomotors circularà una intensitat elevada que pot malmetre el circuit d'alimentació.

6.3. LCD 2004 I ENCODER ELECTROMECAÑIC.

La interfície del nostre robot delta constarà d'un LCD i d'un encoder rotatori amb polsador. El LCD elegit és el LCD 2004 que té 4 files de 20 caràcters cadascuna. Per tal de facilitar la comunicació del LCD amb la placa controladora hem connectat un mòdul I2C al LCD. D'aquesta manera utilitzarem aquest protocol de comunicació que només utilitza 2 línies (Serial Data (SDA), Serial Clock (SCL)).

L'encoder ens permetrà navegar pel menú de configuració i editar els valors de posició del efector final.

A diferència dels encoders incrementals òptics, els encoders electromecànics tenen un disc connectat a GND que conté forats repartits al llarg del seu perímetre. Llavors els canals A i B són dos borns que estan connectats de manera consecutiva i que entren en contacte amb els forats del disc tal i com es mostra en la Figura: 6-26. Llavors quan el disc entra en contacte amb algun d'aquests borns es produeix una connexió elèctrica o pols. Aleshores necessitarem una alimentació als pins A i B. Això s'aconsegueix amb la utilització de les resistències de Pull-up en les entrades digitals d'Arduino tal i com es mostra en la Figura: 6-27.

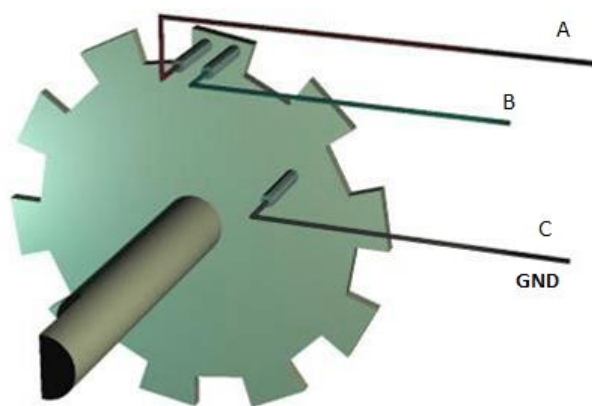


Figura: 6-26 Disc d'un Rotary Encoder [\[54\]](#).

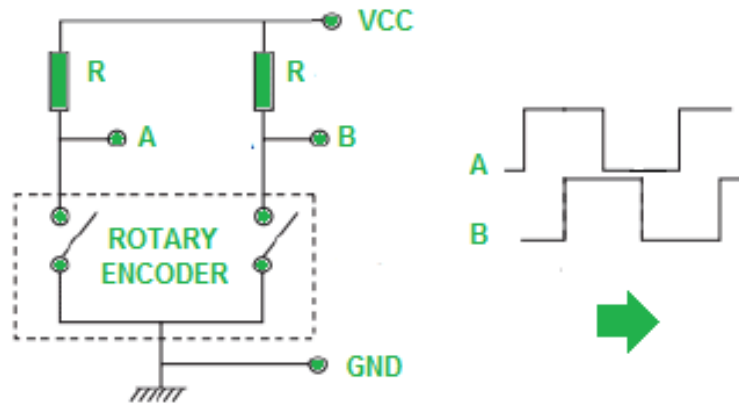


Figura: 6-27 Resistències de Pull-up encoder menú. [53]

6.4. CIRCUÏT D'ALIMENTACIÓ I CONVERSIÓ

Aquest subapartat es basa en informació de la font [51]

Haurem de dissenyar un circuit d'alimentació que permeti als servomotors funcionar al màxim parell. La nostra font d'alimentació proporcionarà 12V, llavors haurem de convertir aquest voltatge a 8V ja que és la tensió perquè els servomotors es moguin al màxim parell i velocitat. El component utilitzat per realitzar aquesta conversió és un convertidor de voltatge L7808 (ANNEX VI).

El problema que tenim amb el L7808 és que si superem els 0.5A en la sortida, el voltatge és disminuït. A més el corrent màxim de sortida és de 1.5A (Figura: 6-28). Si en el pitjor cas possible els servomotors funcionessin a la vegada i consumissin 3A el convertidor no seria capaç de proporcionar aquesta intensitat.

Features

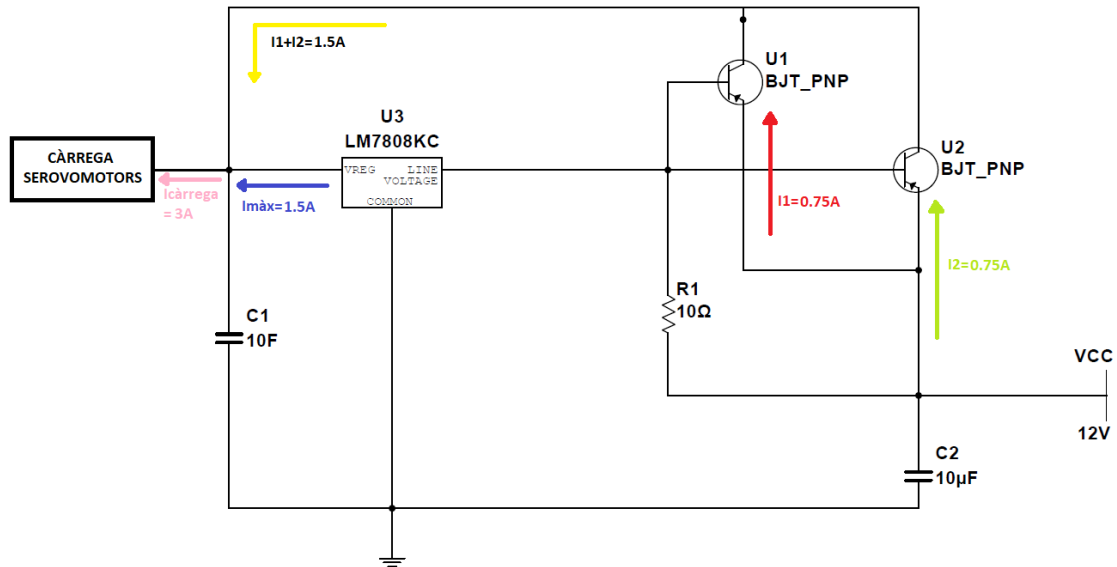
- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of 5; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection
- 2 % output voltage tolerance (A version)
- Guaranteed in extended temperature range (A version)

Figura: 6-28 Intensitat màxima de sortida L7808

Llavors haurem de connectar un transistor PNP en paral·lel a la font d'alimentació i a la sortida del convertidor. L'emissor el connectarem a la font d'alimentació i el col·lector a la sortida del convertidor. D'aquesta manera si el convertidor limita corrent a la sortida podrem donar més corrent a la sortida a través de la branca emissor-col·lector del transistor tal i com es mostra en la Figura: 6-29 (si la càrrega consumeix 3A).

En comptes de connectar un sol transistor, en connectarem dos de paral·lels entre si de manera que si hi hagués una demanda d'intensitat molt elevada el corrent passés per dos branques i no per una. Així evitarem cremar els díodes del transistor

Els transistors elegits són uns TIP147 PNP amb una $I_{Cmàx}$ de 10A i un $V_{CEmàx}$ de 100V. Aquests valors màxims superen considerablement els valors en que treballarem. D'aquesta manera tindrem una seguretat de que no es cremarà cap component.



En la Figura: 6-29 podem observar uns condensadors de $1000\mu\text{F}$ que emmagatzemen energia i redueixen els pics de corrent quan els servomotors s'activen. Podem observar que en les bases hi ha connectada una resistència de 10Ω que serveix per polaritzar les bases i permetre el pas del corrent entre l'emissor i el col·lector.

Per tal de controlar la intensitat que circula per cada servomotor hem connectat uns sensors de corrent ACS712 (ANNEX VI) que donen informació al microcontrolador. Aquests components seran necessaris perquè quan uns dels braços toqui l'estructura de sustentació i es quedi encallat el servomotor absorbirà més intensitat del compte i podríem cremar els transistors i el convertidor de voltatge.–

6.5. CIRCUÏT TOTAL

En la Figura: 6-30 podem apreciar les connexions totals del nostre circuit. Com que fem ús de la placa Arduino Mega 2560 les connexions del circuit d'alimentació les hem fet sobre dos *protoboards*. Aquestes plaques també ens seran útils per connectar les alimentacions dels dispositius de 5V i les masses.

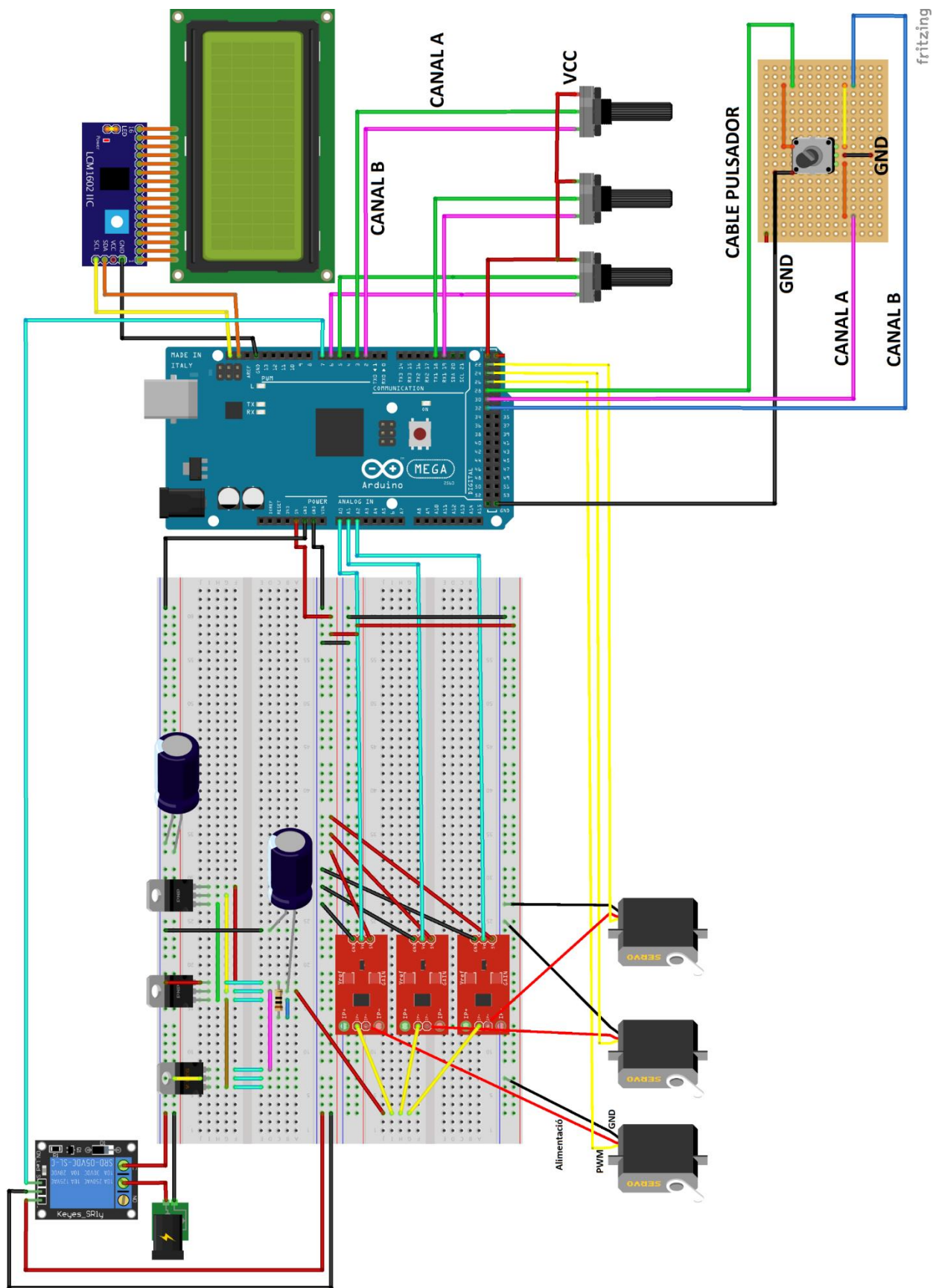


Figura: 6-30 Circuit total amb el programa Fritzing

7. PROGRAMACIÓ

En l'ANNEX V podem veure el programa complet del nostre Delta.

A continuació mostrarem les funcions del programa (Figura: 7-1) i explicarem les seves funcionalitats principals de manera breu (també hi ha la font bibliogràfica). Posteriorment desenvoluparem les funcions més importants amb l'ajuda de diagrames de flux en els altres subapartats.

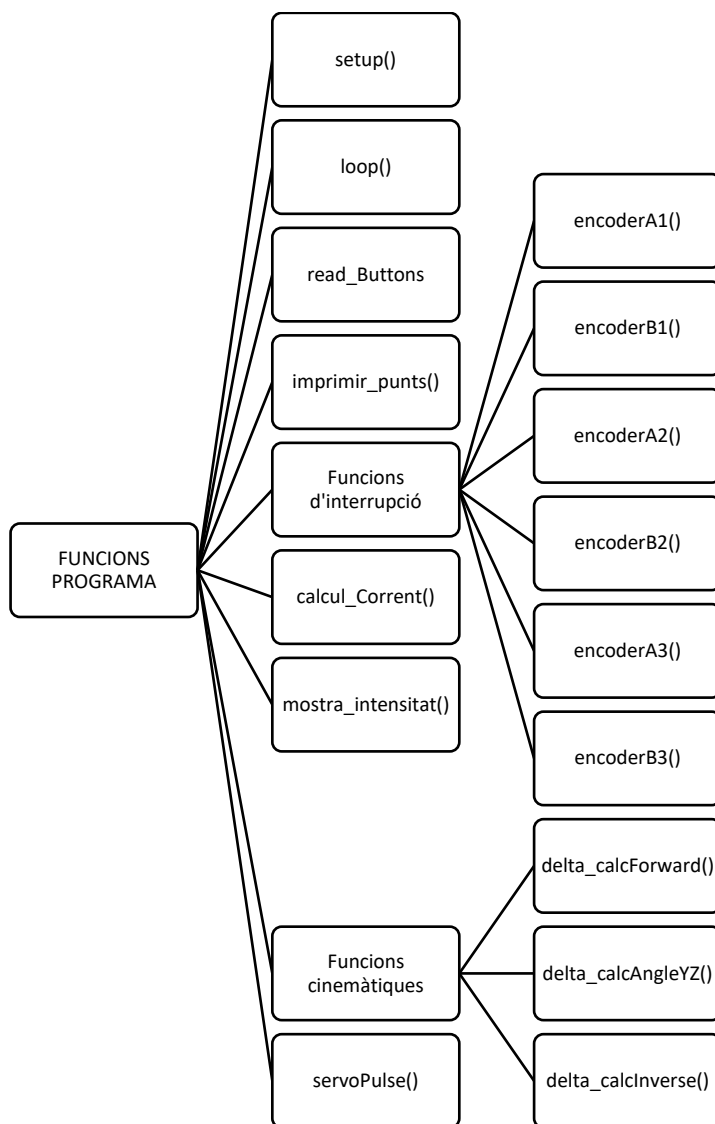


Figura: 7-1 Diagrama de les funcions del programa Delta

- **setup()** → Funció que només s'executa 1 vegada, quan s'inicia el programa.
- **loop()** → Funció que es repeteix de manera cíclica. És on s'executaran les funcions del programa.
- **openMenu()** [56] → És la funció que gestiona el funcionament del menú i mostra les opcions principals que es poden realitzar.
- **openSubMenu()** [56] → Permet modificar els paràmetres de la opció que hem seleccionat en la funció openMenu().
- **imprimir_punts()** → Mostra punts en la pantalla quan s'ha de carregar un canvi de paràmetre de la posició dels braços o efector final.
- **Funcions d'interrupció** → S'activen quan els PINS associats tenen un flanc ascendent. Es fa una comparació amb la tensió del altre canal del encoder i s'augmenta o disminueix el comptador de cada encoder en funció de si el canal en aquell instant és LOW o HIGH.
- **calculCorrent()** [57] → Llegeix la sortida del sensor ACS712 i transforma el voltatge obtingut al valor d'intensitat que estem mesurant
- **mostra_intensitat()** → Fa lectura de la intensitat dels 3 servomotors a través de la funció calculCorrent() i mostra els valors corresponents pel monitor sèrie.
- **delta_calcForward()** [11] → Aplica les equacions de cinemàtica directa utilitzant els angles theta dels braços superiors. Ex: theta1, theta2, theta3 → X,Y,Z
- **delta_calcAngleYZ()** [11] → Aplica la cinemàtica inversa a 1 sol braç. Ex: (X,Y,Z) → theta_1
- **delta_calc_Inverse()** [11] → Aplica les funcions de rotació respecte l'eix Z per trobar els altres 2 angles de rotació theta2 i theta3.
- **servoPulse()** → Transforma l'angle theta al angle del servomotor. Després utilitzem una equació que converteix l'angle servo a l'ample de pols del PWM.

Apliquem aquestes transformacions als 3 angles θ i enviem els 3PWM als servomotors 20 vegades.

7.1. FUNCIO `servoPulse()`

En la Figura: 7-2 podem veure el diagrama de la funció `servoPulse()`. Primer de tot entrarem els angles θ que vulguem convertir. Posteriorment convertirem l'angle θ a la variable β que és l'angle del servomotor i aplicarem l'Equació 6-4. Llavors ja hauréu obtingut l'ample de pols del PWM i enviarem la senyal de control als servomotors.

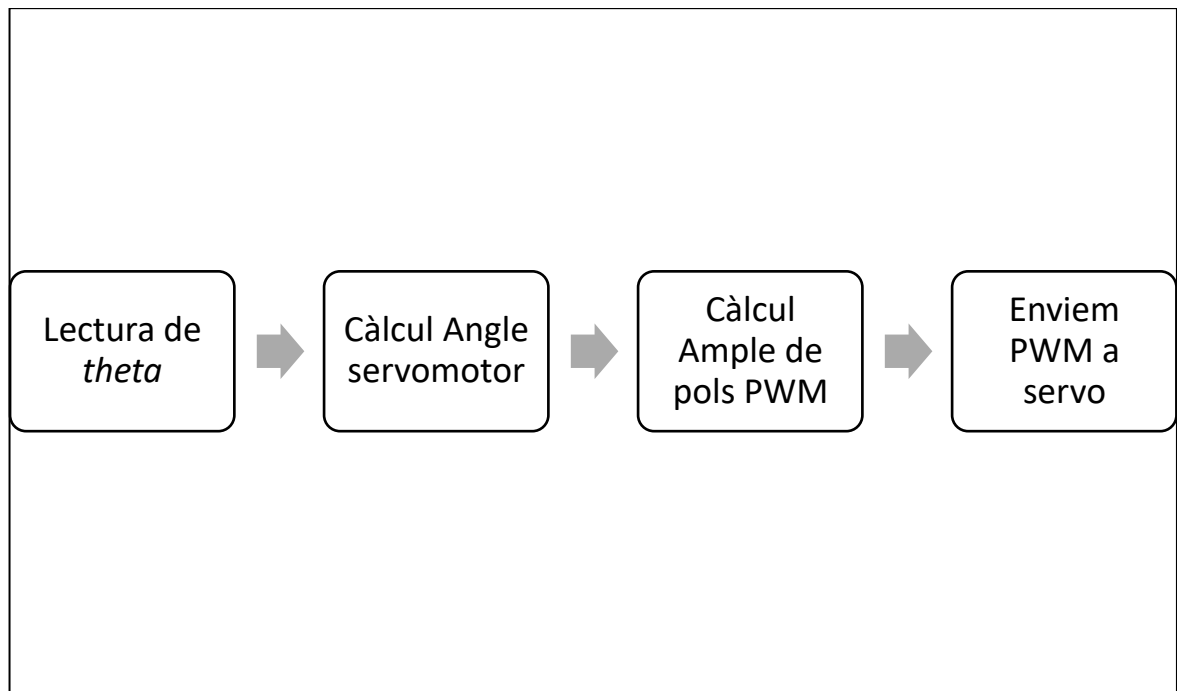


Figura: 7-2 Diagrama de funcionament `servoPulse()`

7.2. FUNCIO `delta_calcAngleYZ()`

En la Figura: 7-3 podem veure el diagrama de la funció `delta_calcAngleYZ()`. Li entrarem les coordenades X,Y,Z del efector final i només obtindrem θ_1 .

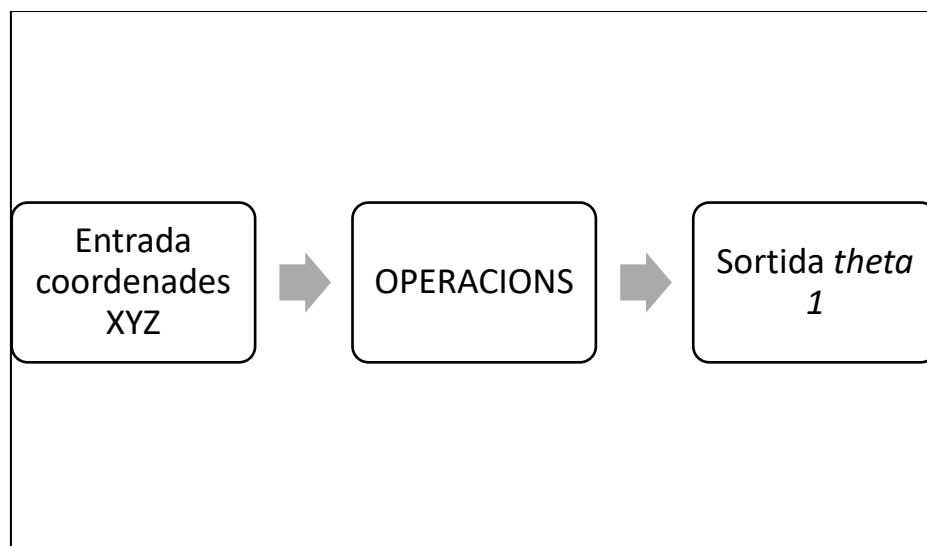


Figura: 7-3 Diagrama de funcionament delta_calcAngleYZ()

Al diagrama de la Figura: 7-4 podem observar les operacions matemàtiques principals que realitza la funció. Primer de tot es calcula l'Equació 4-2 i l'Equació 4-1. Llavors haurem de calcular els paràmetres a i b de l'Equació 4-10 per trobar z_j . Posteriorment substituïrem z_j a l'Equació 4-9 i obtindrem una equació de $2n$ grau. Solucionarem aquesta equació i obtindrem y_j . Finalment farem $\arctan()$ i trobarem θ 1.

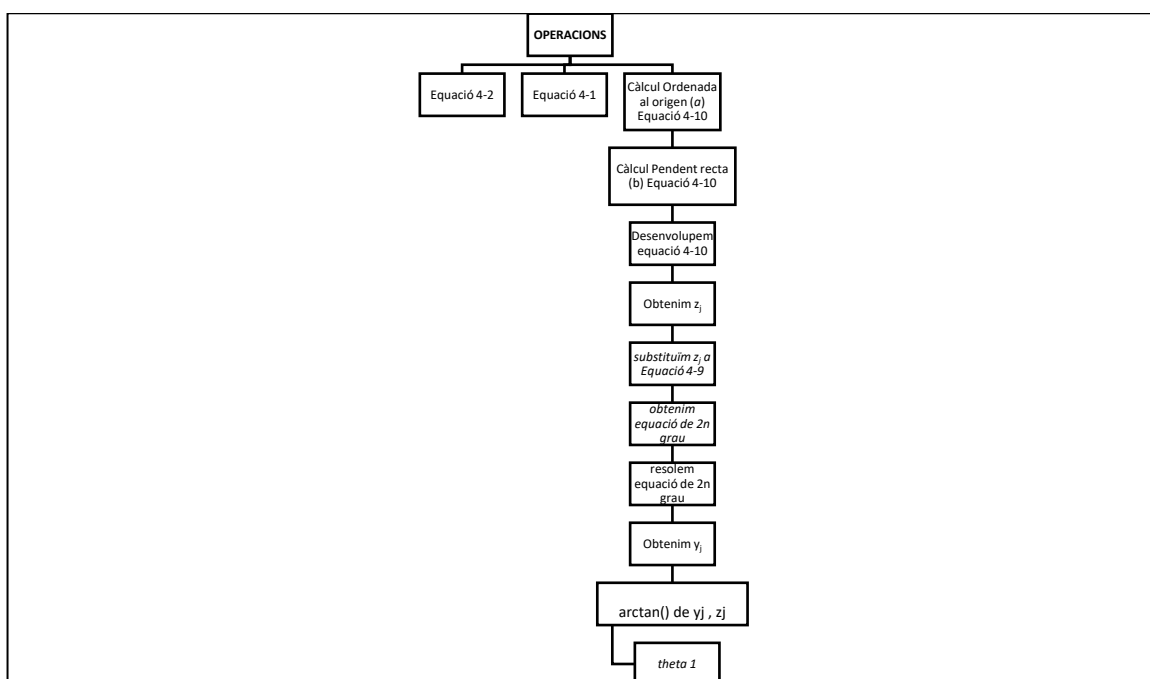


Figura: 7-4 Diagrama de les operacions de la funció delta_calcAngleYZ()

7.3. FUNCIO `delta_calcInverse()`

En la Figura: 7-5 podem observar el diagrama de la funció `delta_calcInverse()`. A la funció li entrarem les coordenades XYZ del efector final. Llavors obtindrem θ_1 , θ_2 i θ_3 .

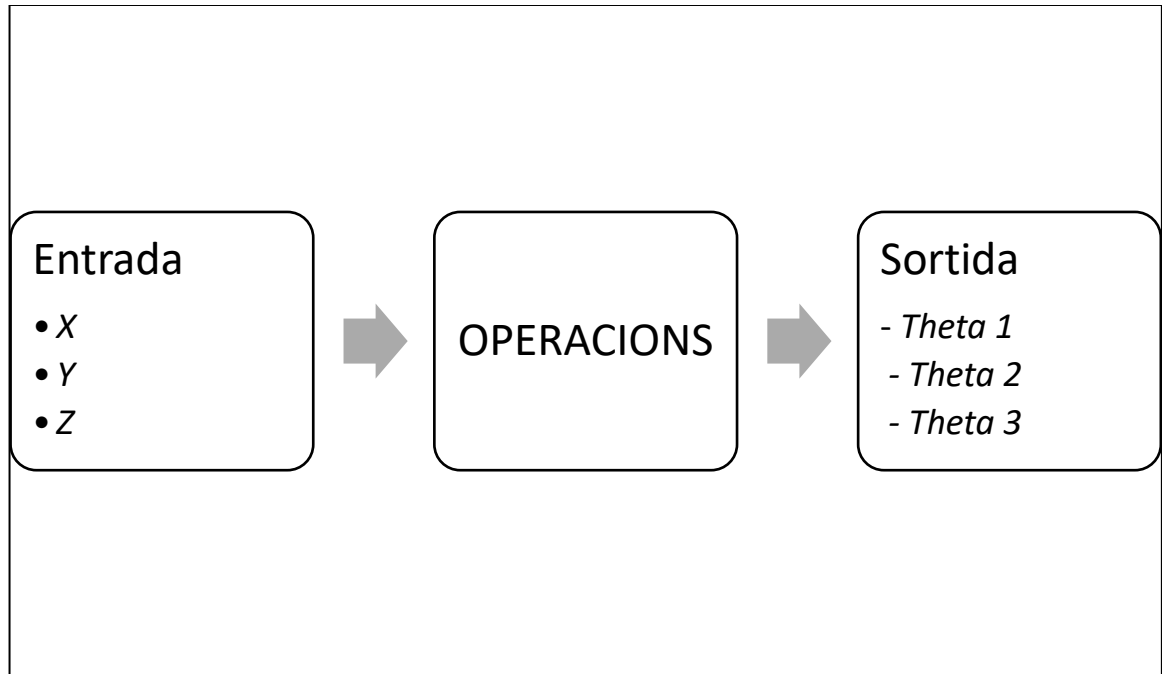


Figura: 7-5 Diagrama de funcionament `delta_calcInverse()`

En la Figura: 7-6 podem observar el diagrama de les operacions de la funció `delta_calcInverse()`. Primer de tot apliquem la funció `delta_calcAngleYZ()` per obtenir θ_1 . Després agafarem les coordenades XYZ i farem les rotacions de $\pm 120^\circ$ dels eixos.. D'últim aplicarem la funció `delta_calcAngleYZ()` a les coordenades corresponents a cada rotació i obtindrem θ_2 i θ_3 .

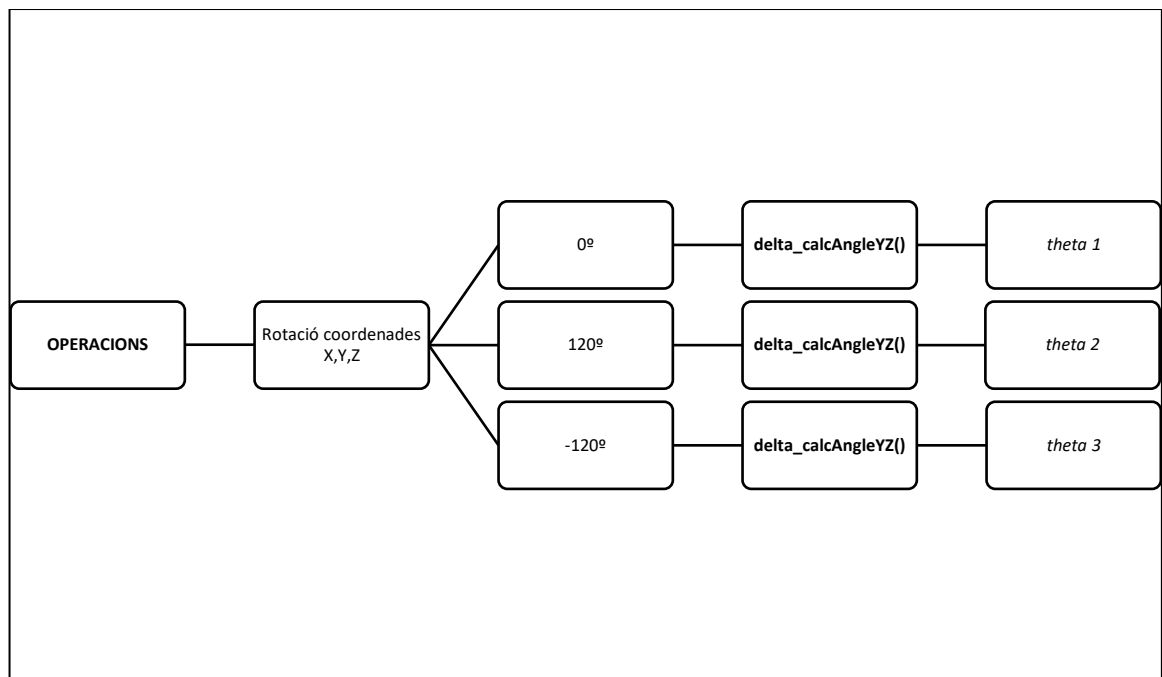


Figura: 7-6 Diagrama de les operacions de la funció `delta_calcInverse()`

7.4. FUNCIO `delta_calcForward()`

En la Figura: 7-7 tenim el diagrama de la funció `delta_calcForward()`. L'hi entrarem les variables *theta 1*, *theta 2* i *theta 3* i obtindrem les coordenades XYZ del efector final.

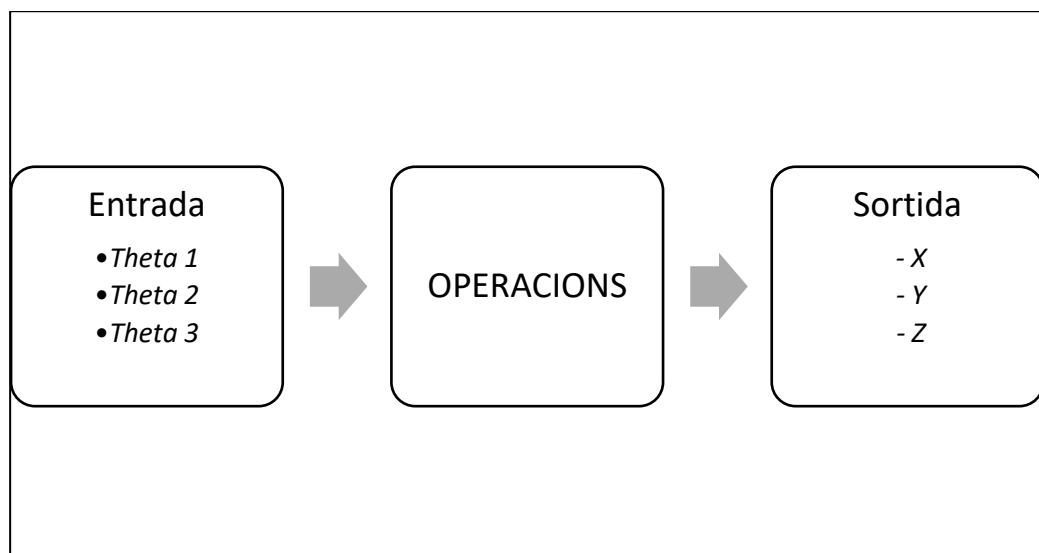


Figura: 7-7 Diagrama de funcionament `delta_calcForward()`

En la Figura: 7-8 tenim el diagrama de les operacions de la funció `delta_calcForward()`. Primer de tot convertirem els angles θ_1 , θ_2 , θ_3 a radians. Posteriorment desenvoluparem les equacions (Equació 4-13, Equació 4-14 i Equació 4-15) que corresponen a les equacions de les 3 esferes amb centre J' . Haurem de substituir els centres J' amb les seves coordenades corresponents i resoldrem el sistema d'equacions. Quan haguem resolt el sistema trobarem les coordenades XYZ.

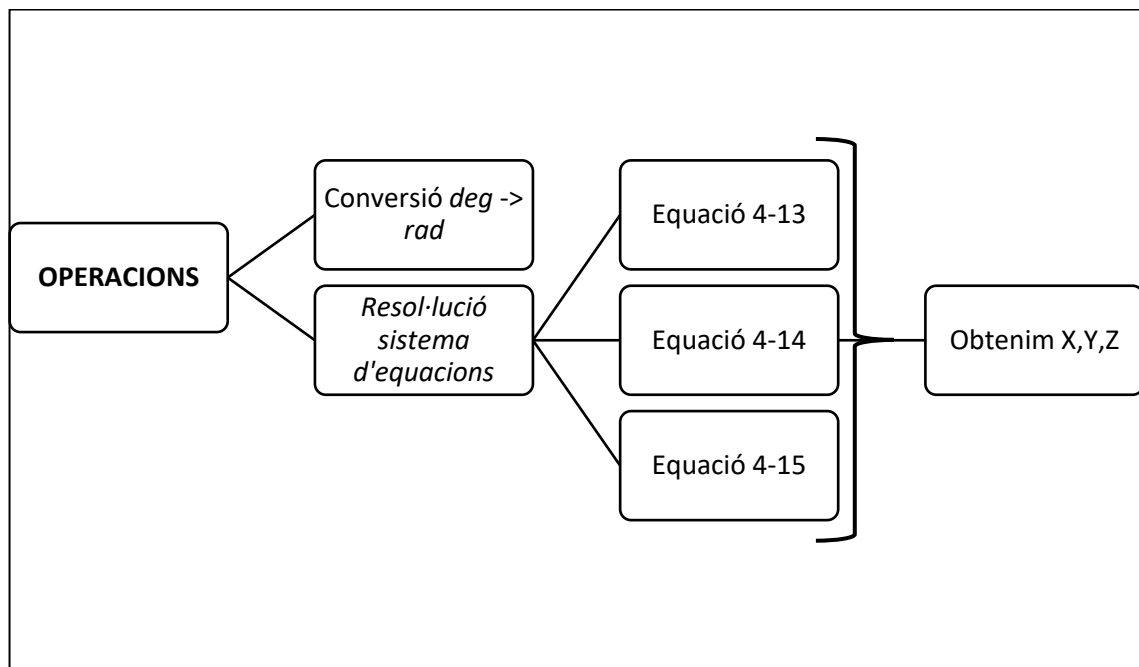


Figura: 7-8 Diagrama de les operacions de la funció `delta_calcForward()`

7.5. FUNCIO `CalculCorrent()`

En la Figura: 7-9 podem observar el diagrama de la funció `CalculCorrent()`

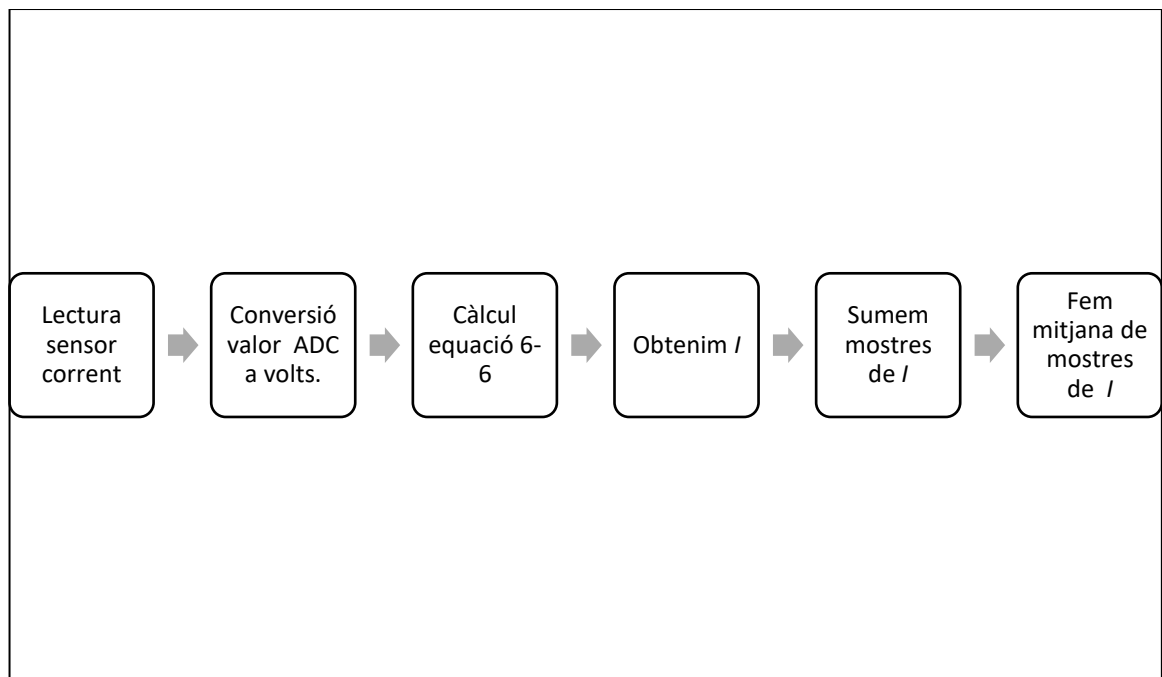


Figura: 7-9 Diagrama de funcionament *CalculCorrent()*

7.6. FUNCIO *mostra_intensitat()*

En la Figura: 7-10 podem observar el diagrama de la funció *mostra_intensitat()*

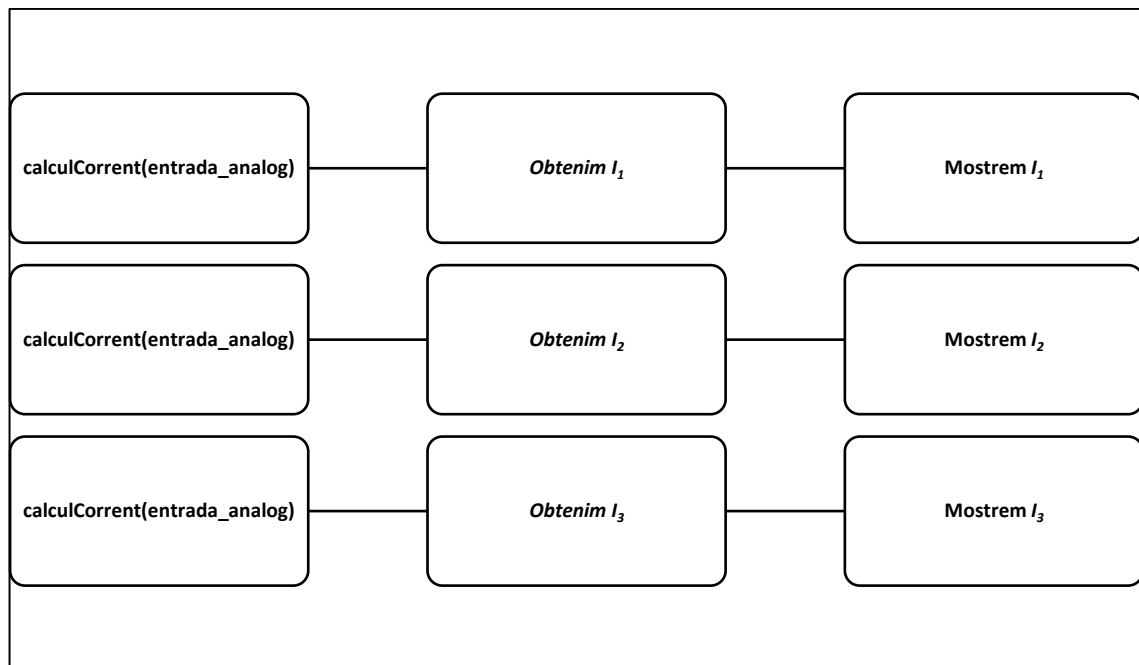


Figura: 7-10 Diagrama de funcionament *mostra_intensitat()*

7.7. FUNCIONS D'INTERRUPCIÓ

En la Figura: 7-11 i Figura: 7-12 podem observar els diagrames de les funcions d'interrupció.

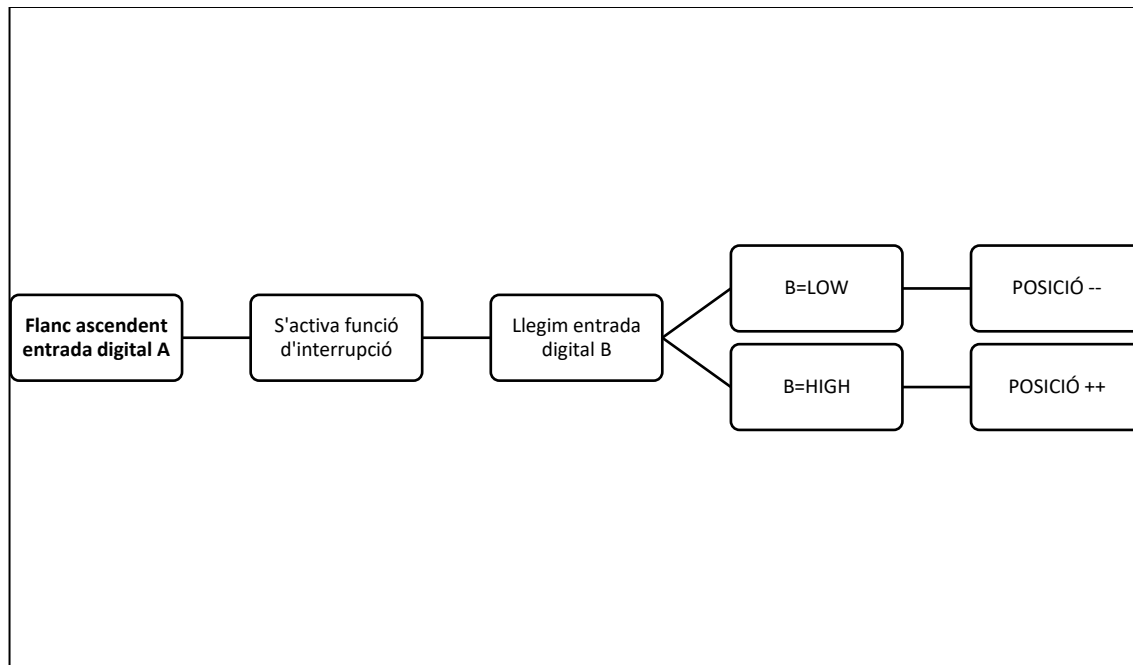


Figura: 7-11 Diagrama de funcionament funció d'interrupció quan flanc ascendent en A.

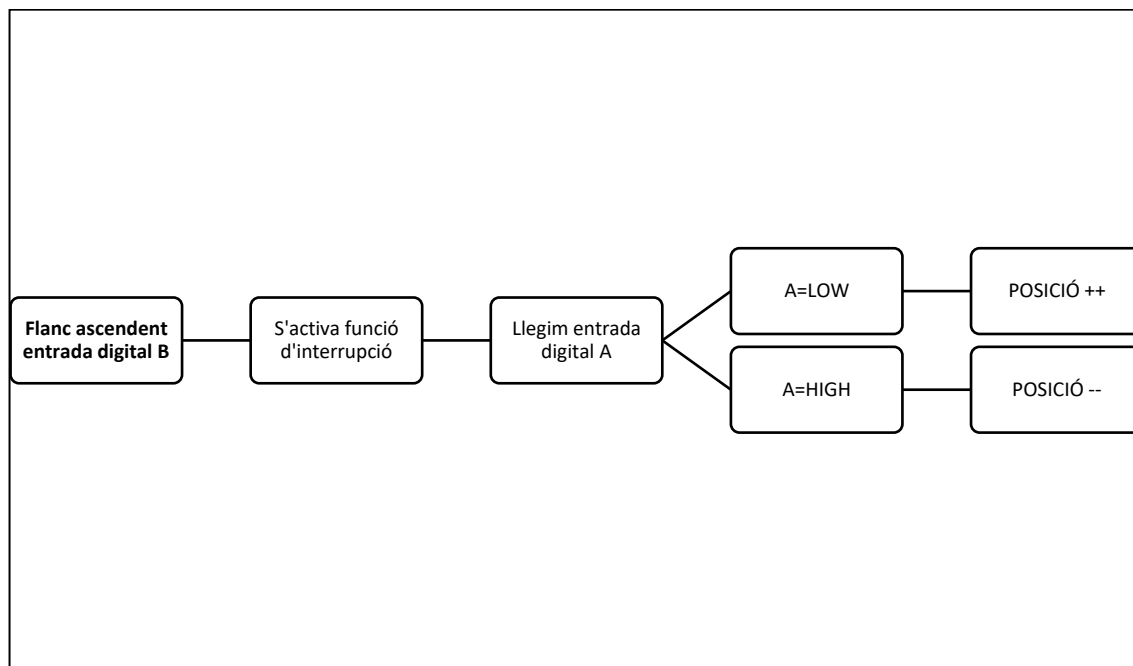


Figura: 7-12 Diagrama de funcionament funció d'interrupció quan flanc ascendent en B.

7.8. FUNCIO `readButtons()`

En la Figura: 7-13 podem veure el diagrama de la funció `readButtons()`. Aquesta funció evalua els estats del encoder menú i els emmagatzema en la variable *Button* que son els següents:

- `Ok` → El polsador del encoder està premut.
- `Left` → El sentit de gir del encoder és antihorari.
- `Right` → El sentit de gir del encoder és horari.
- `Unknown` → No es produeix cap de les possibilitats anteriors.

Primer de tot fem una lectura del Pin switch del encoder menú. En el cas que la lectura doni *LOW* voldrà dir que estem prement l'interruptor i l'estat *Button* serà *Ok*.

Llavors per avaluar els altres estats es llegeix el canal A de l'encoder. Es fa una comparació amb la lectura anterior i l'actual. D'aquesta manera podrem saber si pel canal s'ha produït un flanc ascendent.

Aleshores, quan es produeix un flanc ascendent en A es fa una lectura del canal B. En el cas que *B=LOW* voldrà dir que estem girant l'encoder en sentit antihorari i l'estat serà *Button=Left*. En el cas que *B=HIGH* voldrà dir que estem girant l'encoder en sentit horari i *Button=Right*.

Posteriorment guardarem la variable de la lectura del canal A com la variable anterior. Així podrem detectar els flancs en A.

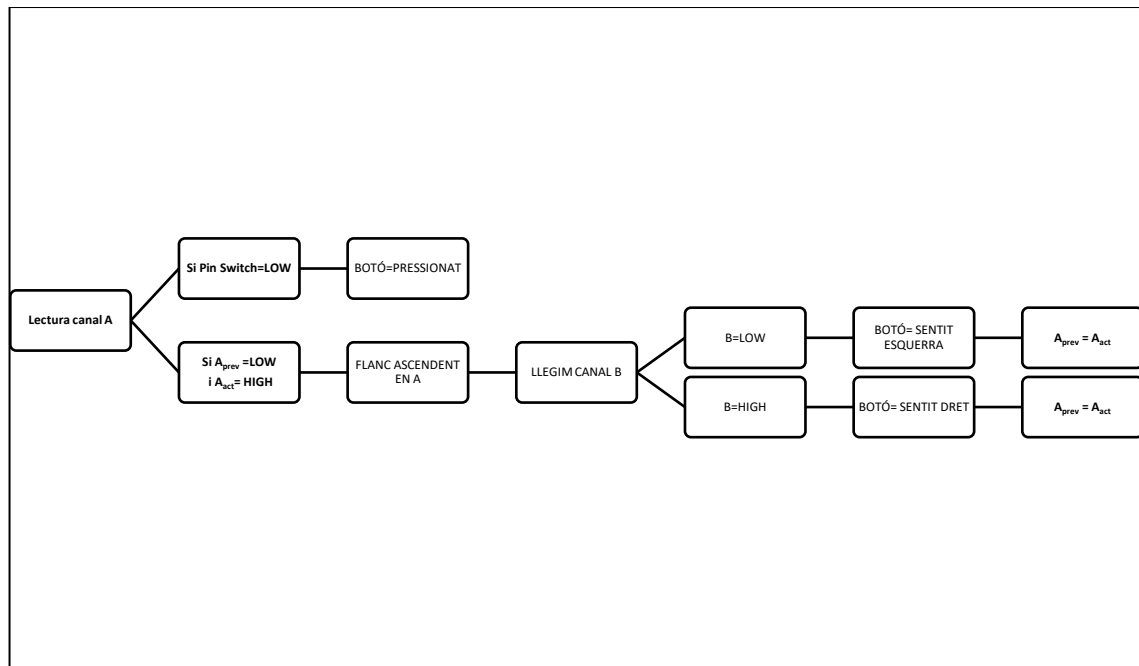


Figura: 7-13 Diagrama de funcionament readButtons().

7.9. FUNCIOÓ openMenu()

En la Figura: 7-14 podem veure el diagrama de la funció *openMenu()*. Aquesta funció s'activarà en la funció *loop* quan la variable *Button* (Botó) estigui en estat *Ok*. Això voldrà dir que el pulsador del encoder menú s'haurà pressionat quan estiguem en la pantalla d'inici del programa.

A mida que anem girant l'encoder menú la funció *readButtons()* anirà llegint l'estat de la variable *Button*. En el cas que hi hagi un gir antihorari la variable *Button* estarà en estat *left* i la variable *idxMenu* anirà disminuint a mida que anem girant. Quan hi hagi un gir horari la variable *Button* estarà en estat *right* i la variable *idxMenu* anirà augmentant a mida que anem girant.

Si tornem a prémer l'encoder obrirem una sentència *switch(idxMenu)* que obrirà la opció corresponent al valor de la variable *idxMenu*. En aquelles opcions on volem modificar paràmetres activarem la funció *openSubMenu()* que també analitza els estats del encoder menú i estableix els límits modificables de cada paràmetre. Després de tenir els paràmetres seleccionats aplicarem les funcions cinemàtiques corresponents, enviarem la senyal PWM als servomotors amb la funció *servoPulse()* i farem lectura de la intensitat dels servomotors. Pel

que fa a les seqüències de moviment aplicarem el procés anterior de manera repetitiva amb una sentència *while()*.

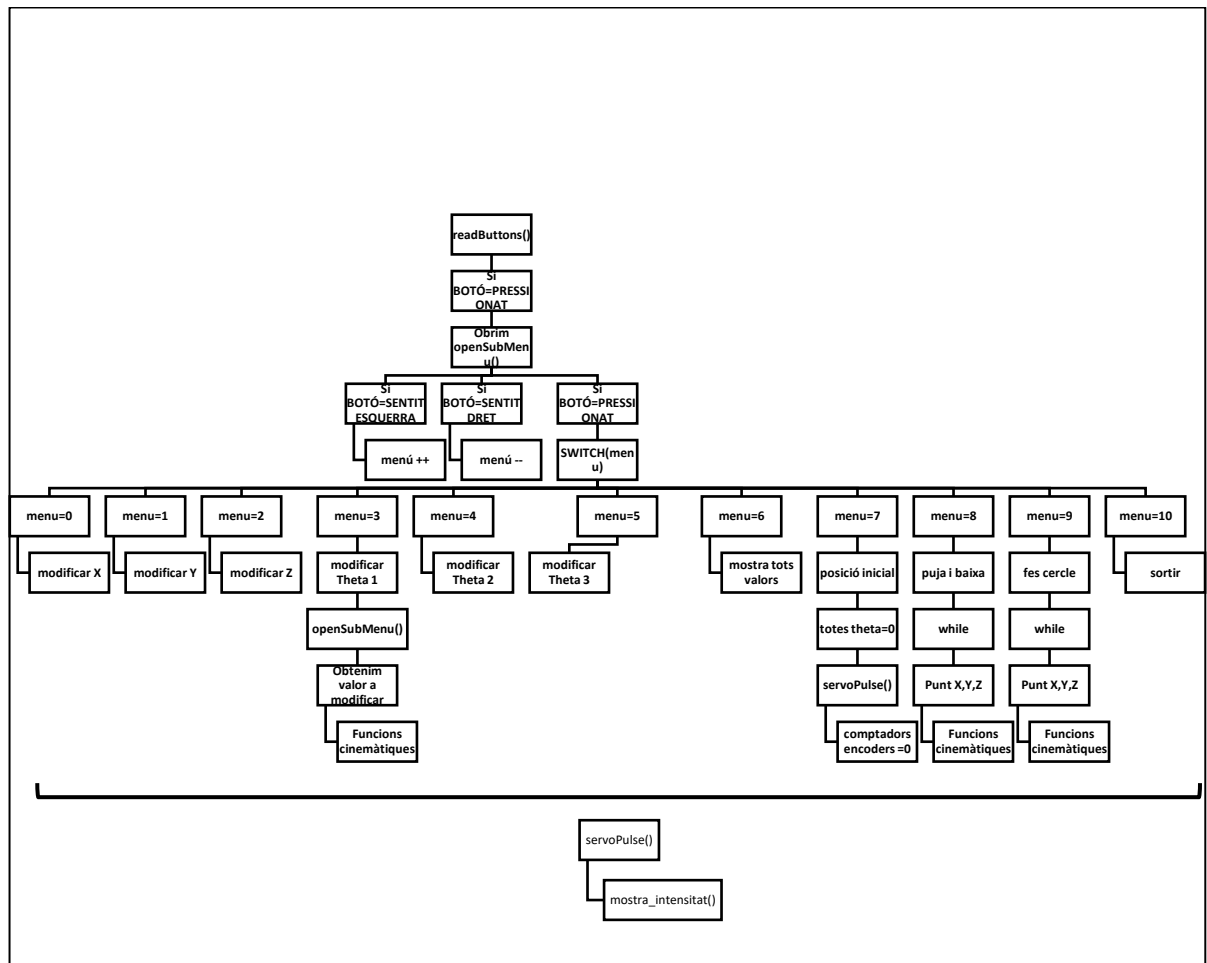


Figura: 7-14 Diagrama de funcionament funció *openMenu()*.

7.10. FUNCIO *openSubMenu()*

En la Figura: 7-15 podem veure el diagrama de la funció *openSubMenu()* que també utilitza la funció *readButtons()* per saber els estats del encoder menú.

En el cas que *Button=left* voldrà dir que estem girant l'encoder en sentit antihorari i la variable *value* disminuirà. En el cas que *Button=right* voldrà dir que estem girant l'encoder en sentit horari i la variable *value* augmentarà. Per validar el valor seleccionat premerem el polsador del encoder i sortirem de la funció *openSubMenu()*. Llavors tornarem cap a la funció *openMenu()*. La funció *openSubMenu()* també mostra el valor de selecció al display LCD mentre l'estem modificant tal i com es mostra en la Figura: 7-16.

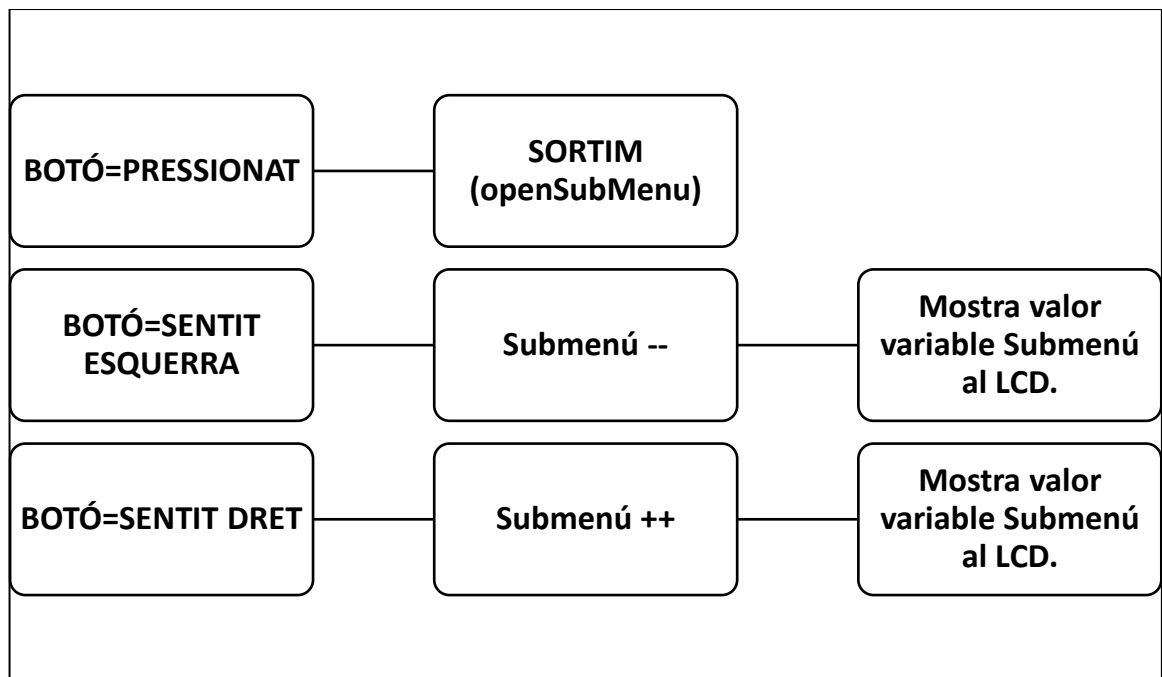


Figura: 7-15 Diagrama de funcionament openSubMenu().



Figura: 7-16 Valor de selecció mostrat al display LCD.

7.11. FUNCIO Setup()

En la Figura: 7-17 podem veure el diagrama de la funció *Setup()*. Aquesta funció només s'executa una vegada (la primera).

Primer de tot definirem quins pins són d'entrada o sortida. Posteriorment determinarem quines són les entrades digitals d'interrupció que correspondran als canals dels encoders servomotors.

Després inicialitzarem el display LCD declarant les files i columnes de caràcters. Aleshores mostrarem la finestra d'inici de programa.

Finalment posarem totes les variables *theta* a zero, connectarem el circuit d'alimentació a través del relé, enviarem la senyal PWM als encoders i posarem els comptadors dels encoders a 0.

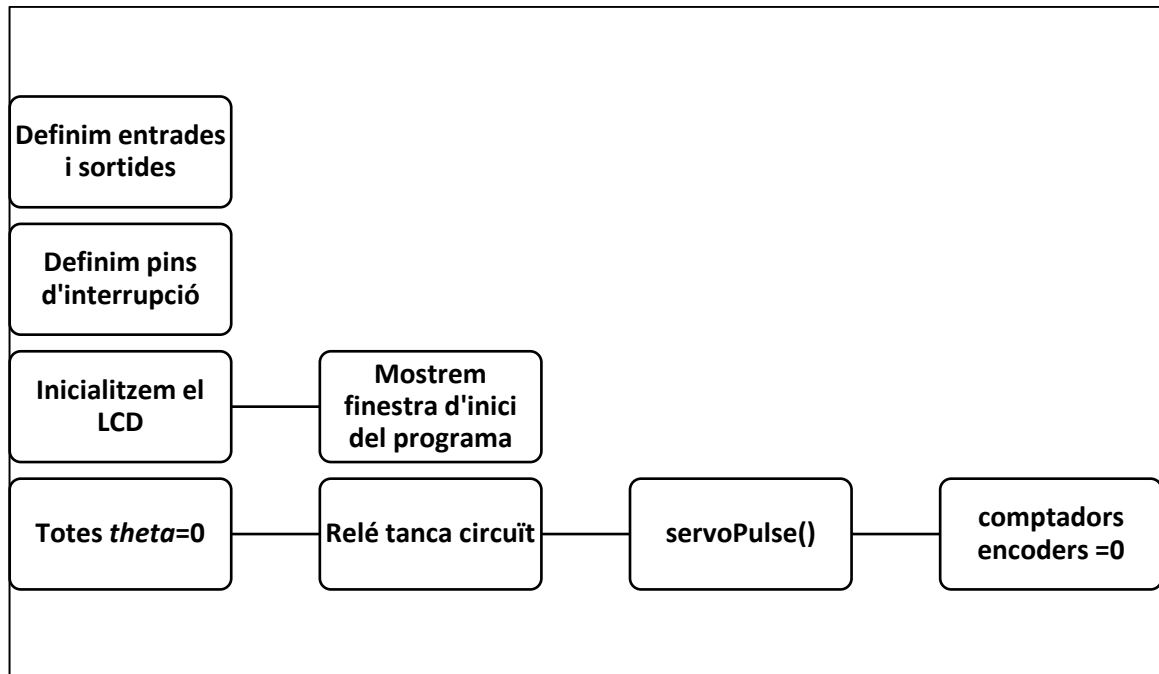


Figura: 7-17 Diagrama de funcionament Setup()

7.12. FUNCIO Loop()

Primerament convertirem els valors dels comptadors dels encoders a graus. Llavors enviarem les dades al monitor sèrie per poder-les visualitzar en la pantalla. Posteriorment farem una lectura de les intensitats i també les enviarem al monitor sèrie.

En quant a la lectura d'intensitats si algun dels servomotors consumeix més d'1A farem que el relé desconnecti el circuit d'alimentació. En el cas que les intensitats siguin correctes la funció *ReadButtons()* s'encarregarà de llegir l'estat del encoder menú. Si *Button=Ok* (hem premut el polsador del encoder) s'executarà la funció *openMenu()*. Si *Button≠Ok* mostrarem els valors dels encoders i les coordenades XYZ del efector final tal i com es mostra en la Figura: 7-19.

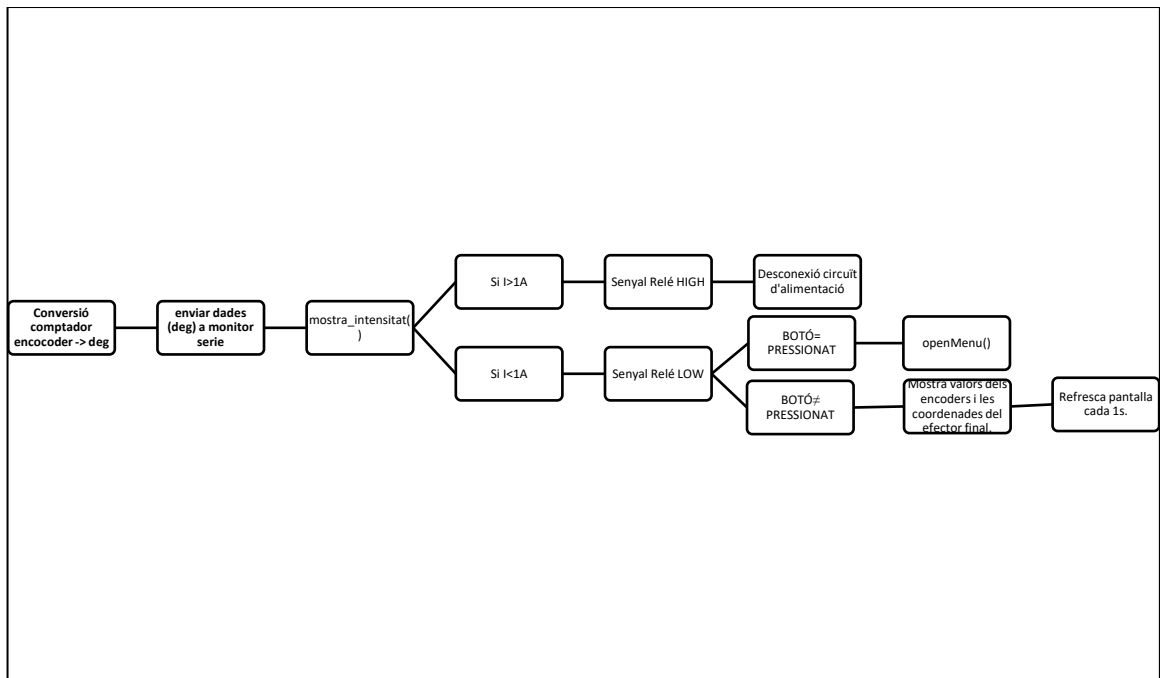


Figura: 7-18 Diagrama de funcionament Loop()

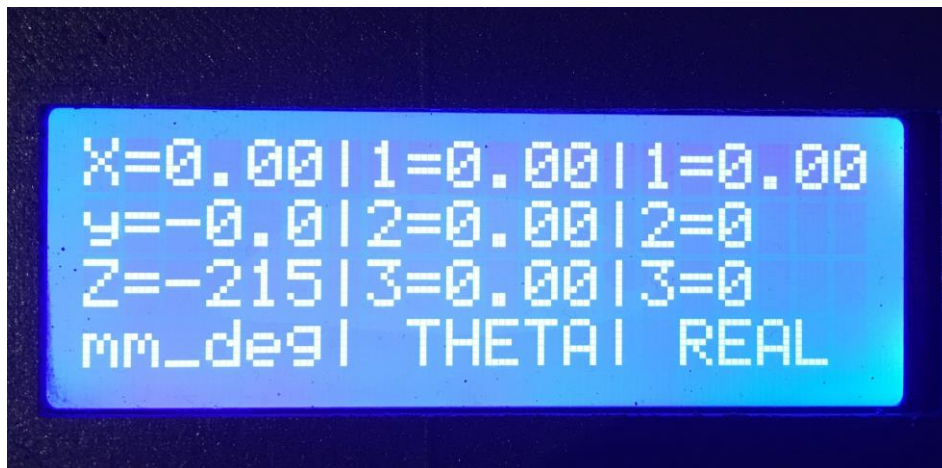


Figura: 7-19 Valors encoders i coordenades XYZ

8. PRESSUPOST

En la Taula 8-2 mostrem el cost dels materials i components del projecte. Tots ells adquirits online. Les despeses d'enviament i l'*impost sobre el valor afegit* (IVA) del 21% encareix el preu dels components.

Aleshores les despeses dels materials del projecte són de 388,79 € amb l'IVA inclòs.

A més haurem de sumar el cost de l'energia elèctrica. El consum d'una impressora 3D és equiparable al d'un televisor petit o un ordinador de taula sense monitor [\[50\]](#). Per exemple una batedora o una planxa consumeixen més que una impressora.

La potència mitjana d'una impressora 3D sol ser d'uns 80W. Llavors hem comptabilitzat unes 663h d'impressió total. Així que si fem l'operació:

$$\frac{P_a \cdot t_u}{1000} = E_{cons} \quad \text{Equació 8-1}$$

A on:

P_a és la potència del aparell elèctric. En el nostre cas són 80W de la impressora;

t_u és el temps del aparell utilitzat en hores; E_{cons} és l'energia consumida en $KW \cdot h$.

El contracte amb la nostra companyia elèctrica és un PVPC (*Precio Voluntario para el Pequeño consumidor*) i una tarifa de discriminació horària. Amb aquesta tarifa el preu de la llum varia cada hora del dia però s'estableixen dos períodes de temps: Període punta (preu elevat) i període vall (preu baix).

En la Taula 8-1 podem veure quines hores comprenen els diferents períodes.

Taula 8-1 Períodes de tarifa elèctrica

Període	Hores del dia	Percentatge del dia
Punta	12 a 22 h	$\frac{10h}{24h} \cdot 100 = 41.67\%$
Vall	22 a 12 h	$\frac{14h}{24h} \cdot 100 = 58.33\%$

Les hores d'impressió del projecte equivalen a 28 dies. Llavors podrem dir que hem imprès cada dia durant aquest interval de temps. En la Taula 8-1 també podem veure el percentatge de cada període durant un dia.

El nombre total d'hores és de 663h. Així que 276.27h pertanyeran al període punta i 386.72h al període vall.

Obtindrem:

$$80W \cdot 276.27h \cdot \frac{1KW}{1000W} = 22.1kWh \rightarrow \text{Període punta}$$

$$80W \cdot 386.72h \cdot \frac{1KW}{1000W} = 30.94kWh \rightarrow \text{Període vall}$$

El dies d'impressió del projecte equivalen gairebé a un mes. Llavors simularem aquesta energia consumida en una factura d'electricitat (Taula 8-3):

Taula 8-2 Preu dels components del projecte

Component	Quantitat	Preu unitat	Preu total
Adhesiu per plàstics Ceys	1	2,35 €	2,35 €
Alimentador Arduino 9V 1A	1	8,99 €	8,99 €
Cables protoboard Elegoo	1	7,59 €	7,59 €
Caixa de connexions elèctrica.	1	17,99 €	17,99 €
Cinta 3D blue 50x50	1	8,70 €	8,70 €
Condensadors 1000uF 25V	3	0,86 €	2,58 €
Encoders incremental	3	14,49 €	43,47 €
Esmalt acrílic Gris Fosc 400ml	1	7,95 €	7,95 €
Filament PLA BQ 1,75mm (1Kg)	8	15,65 €	125,20 €
LCD 2004 + Mòdul I2C	1	13,99 €	13,99 €
Lubricant 3-EN-UNO	1	3,99 €	3,99 €
Placa Arduino MEGA 2560 R3	1	33,88 €	33,88 €
Protoboard Neuftech	2	6,45 €	12,90 €
Regleta 3 tomes 230 V	1	9,59 €	9,59 €
Regulador Volt. 7808 TO220	1	1,68 €	1,68 €
Relé KY-019 5V	1	1,79 €	1,79 €
Rotary Encoder KY-040	1	2,44 €	2,44 €
Sensor. Corrent ACS712 30A	3	7,09 €	21,27 €
Servomotor LD-20MG	3	19,28 €	57,84 €
Transistor Tip 147 PNP TO220	2	2,30 €	4,60 €
Total	37		388,79 €

Taula 8-3 Simulació factura de la llum

Facturació per potència contractada:	23.44€
Facturació per energia consumida:	4.81€
Import per peatge d'accés	
Facturació consum Període P1	
21.1KWh x 0.062012 €/KWh	1.31€
Facturació consum Període P3	
30.94KWh x 0.002215 €/KWh	0.069€
Import per cost de l'energia	
Facturació consum Període P1	
21.1KWh x 0.068233 €/KWh	1.44€
Facturació consum Període P3	
30.94KWh x 0.064314 €/KWh	1.99€
Subtotal	28.25€
Impost d'electricitat	
28.25 X 5.11269632	1.44€
Lloguer d'equips de mesura i control	1.34€
Subtotal altres conceptes	2.78€
Import total	31.03€
IVA (21%)	6.52€
TOTAL IMPORT FACTURA	37.55€

Si fem la suma del cost dels components i de l'energia elèctrica obtenim que el cost del projecte és de **426,34€**.

9. CONCLUSIONS

En la realització d'aquest projecte hem conegut els diferents tipus de robots paral·lels i algunes de les seves aplicacions. També hem vist la seva evolució al llarg de la Història.

Quant als robots Delta hem après quines són les seves parts principals: Primerament hem explicat el programa informàtic utilitzat per fer el disseny dels components mecànics. Posteriorment hem fet el disseny mecànic i hem mostrat els diferents mètodes per desenvolupar-lo.

A fi de poder entendre millor els components del robot i poder fer l'algoritme de control dels braços hem exposat les cinemàtiques, utilitzant les dimensions calculades prèviament en el disseny mecànic.

Tot seguit hem introduït les característiques de la nostra impressora 3D i hem explicat amb l'ajuda d'il·lustracions les seves parts principals. Al llarg de les impressions hem tingut diferents problemes que hem anat solucionant amb l'ajuda d'altres usuaris que han tingut les mateixes dificultats i han mostrat solucions per la xarxa. Així que hem mostrat les causes dels problemes i les solucions que ens han sigut efectives.

Una vegada comentat el tema mecànic i físic, hem explicat els diferents components electrònics utilitzats. Després d'una breu introducció de cada component hem justificat l'elecció de cada element i hem pogut mostrar els circuits principals amb les connexions pertinents.

Respecte al programa informàtic que s'executa en la placa controladora és fonamental haver calculat prèviament les equacions cinemàtiques. Les funcions cinemàtiques són les més importants pel funcionament del robot. No obstant això hem hagut d'adaptar un programa d'interfície d'usuari per satisfer els objectius principals del projecte.

El nostre Delta pot posicionar l'efector final en les coordenades desitjades de l'espai. També podem modificar els diferents angles *theta* dels braços superiors. El fet de tenir una interfície que ens dona informació de les coordenades del efector final a temps real ens és molt útil per programar seqüències de moviment, ja que podem saber les coordenades dels punts que haurà de seguir l'efector final i fer les modificacions pertinents.

Possibles millores podrien ser la inserció d'una càmera de visió i algun actuator en l'efector final com ara una ventosa d'efecte venturi per tal de fer una tasca industrial de *pick and place*.

Sobre el temps total d'impressió de les peces del nostre projecte hem obtingut unes 663h, que vindrien a ser 28 dies d'impressió. La massa total de material imprès ha sigut 7.8Kg i el cost de l'energia elèctrica ha sigut de 37.55€. A més si sumem el cost dels components del projecte que és de 388,79 € obtenim que la despesa del projecte ha sigut de **426,34€**.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Moreno Avalos, H. (2012). *Robots Paralelos, Conceptos y Aplicaciones*. [online] Es.slideshare.net. Available at: <https://es.slideshare.net/htrmoreno/robots-paralelos> [Accessed 5 Mar. 2019].
- [2] Rubio Alonso, H. (2019). *JUNTAS UNIVERSALES. Diseño Mecánico*. [online] Ocw.uc3m.es. Available at: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-mecanico-1/material_clase/ocw_juntas [Accessed 7 Feb. 2019].
- [3] Vivas, A. (2019). *ROBÓTICA PARALELA: APLICACIONES INDUSTRIALES, MODELADO Y CONTROL*. 1st ed. [ebook] Popayán, Colombia: Andrés Vivas, Universidad del Cauca, pp.1-3. Available at: http://www.unicauca.edu.co/ai/publicaciones/ISAShow_Vivas.pdf [Accessed 8 Apr. 2019].
- [4] @EPFL, D. (2011). *Delta Robots @EPFL*. [online] YouTube. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=_FOpni3BJxM&feature=youtu.be [Accessed 8 Apr. 2019].
- [5] Miguel Díaz-Rodríguez, Hector Fabio Quintero-Riaza, Luis Adriana Mejía-Calderón, Germán Holguin, Marlon Herrera-López, et al.. *Aplicación de los Robots Paralelos. Manipuladores Paralelos: Síntesis, Análisis y Aplicaciones*, 2018. <hal-01907282>
- [6] En.wikipedia.org. (2019). *AMiBA*. [online] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/AMiBA> [Accessed 8 Apr. 2019].
- [7] Garcia, J. (2011). *Robots Trepadores*. [Blog] *Proyectoiprobotica*. Available at: <http://sfproyectoiprobotica.blogspot.com/2013/01/robots-trepadores.html> [Accessed 8 Apr. 2019].
- [8] Sheng, L. (2019). *Optimization Design by Genetic Algorithm Controller for Trajectory Control of a 3-RRR Parallel Robot*. 1st ed. [ebook] Xuzhou, China: School of Mechatronic Engineering, China University, p.3. Available at: <https://www.mdpi.com/1999-4893/11/1/7> [Accessed 8 Apr. 2019].

- [9] Bonev, I. (2019). *Orthoglide: A 3-Axis Parallel Machine Tool for High-Speed Machining*. [online] Parallelemic.org. Available at: <https://www.parallelemic.org/Reviews/Review011.html> [Accessed 8 Apr. 2019].
- [10] Behrendt, M. (2019). *Control predictivo por modelo*. [online] Es.wikipedia.org. Available at: https://es.wikipedia.org/wiki/Control_predictivo_por_modelo [Accessed 8 Apr. 2019].
- [11] Delta robot Kinematics. (2009). [Blog] *Trossen Robotics Community*. Available at: <http://forums.trossenrobotics.com/tutorials/introduction-129/delta-robot-kinematics-3276/> [Accessed 8 Apr. 2019].
- [12] Profesorenlinea.cl. (2019). *Ecuación de la circunferencia*. [online] Available at: http://www.profesorenlinea.cl/geometria/Ecuacion_Circunferencia.html [Accessed 8 Apr. 2019].
- [13] Modelling and Control of a Parallel Kinematic Robot. (2013). 1st ed. [ebook] Lund, Sweden: Media-Tryck, pp.12-14. Available at: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=4332966&fileId=4332967> [Accessed 8 Apr. 2019].
- [14] Wiki, W. (2019). *Rigidez flexional*. [online] Es.wikipedia.org. Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Rigidez> [Accessed 8 Apr. 2019].
- [15] S. Farah, et al., Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review, Adv. Drug Deliv. Rev. (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>
- [16] Es.slideshare.net. (2010). *Deformacion en vigas*. pp.17-19 [online] Available at: <https://es.slideshare.net/rlexl6darv/deformacion-en-vigas> [Accessed 8 Apr. 2019].
- [17] TUTORIALES, C. (2017). *Método doble integración(Video 01) - Introducción y explicación del método*. [online] YouTube. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=rrl3TIP1N-M&list=PL9dJ3TiII2wS6I0tQz7zKAHYKSAgJIItk> [Accessed 8 Feb. 2019].

- [18] Luévanos, A. (2011). *Método de deflexión-pendiente para vigas estáticamente indeterminadas, considerando las deformaciones por cortante..* 1st ed. [ebook] Estado de Durango. México., p.4. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3711814.pdf>; [Accessed 8 Apr. 2019].
- [19] Sites.google.com. (2015). *5.1.1. ROSCA MÉTRICA ISO - roscasferranjoan*. [online] Available at: <https://sites.google.com/site/roscasferranjoan/5-sistemas-de-roscas-y-su-utilizacion/5-1-1-rozca-metrica-iso> [Accessed 8 Apr. 2019].
- [20] SolidBI. (2019). *SOLIDWORKS - Qué es y para qué sirve*. [online] Available at: <https://solid-bi.es/solidworks/> [Accessed 18 Apr. 2019].
- [21] Khlifi, H. (2019). What are the advantages and disadvantages of solidworks?. [Blog] *Quora*. Available at: <https://www.quora.com/What-are-the-advantages-and-disadvantages-of-solidworks> [Accessed 18 Apr. 2019].
- [22] Engineering, L. (2019). *Von Mises Stress ,Yield Criterion & Distortion energy theory*. [online] YouTube. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=Smj_F7MN3S4 [Accessed 18 Apr. 2019].
- [23] ResearchGate. (2019). *Diagrama Esfuerzo-Deformación..* [online] Available at: https://www.researchgate.net/figure/Diagrama-Esfuerzo-Deformacion-Gandica-2006_fig4_316169194 [Accessed 18 Apr. 2019].
- [24] Ensayo de tracción. (2019). [Blog] *Area Tecnologia*. Available at: <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html> [Accessed 18 Apr. 2019].
- [25] Es.wikipedia.org. (2017). *Tensión de Von Mises*. [online] Available at: https://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_de_Von_Mises [Accessed 18 Apr. 2019].
- [26] I.stack.imgur.com. (2019). *Arduino Mega PinOut Diagram*. [online] Available at: <https://i.stack.imgur.com/bBUfz.png> [Accessed 18 Apr. 2019].

- [27] Arduino.cc. (2019). *Arduino Mega Sketch*. [online] Available at: https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-mega2560_R3-sch.pdf [Accessed 18 Apr. 2019].
- [28] Hernández, L. (2017). Processing, Wiring y Arduino. [Blog] *programarfacil*. Available at: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/processing-wiring-arduino/> [Accessed 2 May 2019].
- [29] Arduino Mega 2560. (2017). [ebook] mantech, pp.2-3. Available at: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf> [Accessed 2 May 2019].
- [30] Arduino. (2016). *What is Arduino?*. [online] Available at: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> [Accessed 2 May 2019].
- [31] Miller, R. (2016). *ATmega 2560 Datasheet Main features*. [ebook] Available at: <https://slideplayer.com/slide/5922713/> [Accessed 2 May 2019].
- [32] Atmel 2560 datasheet. (2014). [ebook] Available at: https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf [Accessed 2 May 2019].
- [33] García Gonzalez, A. (2016). <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>. [Blog] *Panamahitek*. Available at: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/> [Accessed 2 May 2019].
- [34] Qué es un servomotor y cómo se utiliza?. (2019). [Blog] *programarpicenc*. Available at: <http://programarpicenc.com/articulos/que-es-un-servomotor-y-como-se-utiliza/> [Accessed 2 May 2019].
- [35] Filamento PLA: consejos, características y mucho más. (2018). [Blog] *IMPRESORAS3D.COM*. Available at: <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas/> [Accessed 7 May 2019].

- [36] Ventilador de capa – Importancia en la impresión 3D. (2017). [Blog] *wonderprint*. Available at: <https://wonderprint.es/la-importancia-del-ventilador-de-capa-en-la-impresion-3d/> [Accessed 7 May 2019].
- [37] Qué es la retracción en impresión 3D? Definición y ajustes. (2019). [Blog] *filament2print*. Available at: https://filament2print.com/es/blog/34_retraccion-impresion-3d.html [Accessed 7 May 2019].
- [38] 3dnewworld. (2019). *Guía de resolución de problemas de impresión*. [online] Available at: <http://3dnewworld.com/guia-de-resolucion-de-problemas-de-impresion/#Stringing> [Accessed 7 May 2019].
- [39] Diseño para impresión 3D. (2019). [Blog] *trideo3d*. Available at: <https://www.trideo3d.com/blog/disenio-para-impresion-3d> [Accessed 7 May 2019].
- [40] Keyence.com.mx. (2019). *¿Qué es un sensor de proximidad inductivo? / Fundamentos del sensor: Guía de sensores para fábricas clasificados por principios / KEYENCE*. [online] Available at: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/proximity/info/> [Accessed 7 May 2019].
- [41] All3DP. (2019). *3D Printing Support Structures – All You Need To Know in 2019 / All3DP*. [online] Available at: <https://all3dp.com/1/3d-printing-support-structures/> [Accessed 7 May 2019].
- [42] Para qué sirve el Skirt, el Brim y el Raft. (2017). [Blog] *filament2print*. Available at: https://filament2print.com/es/blog/23_skirt-brim-raft.html [Accessed 7 May 2019].
- [43] Smoothieware.org. (2019). *zprobe [Smoothieware]*. [online] Available at: <http://smoothieware.org/zprobe> [Accessed 7 May 2019].
- [44] El Hotend - Funcionamiento y Zonas. (2016). [Blog] *.hta3d*. Available at: <https://www.hta3d.com/es/Blog/Hotend-01-ES> [Accessed 7 May 2019].

[45] Larrañaga, Á. (1999). Mantenimiento de Prusa i3 Hephestos. [Blog] *Diwo*. Available at: <http://diwo.bq.com/mantenimiento-de-prusa-i3-hephestos/> [Accessed 8 May 2019].

[46] RECREUS.COM. (2019). *Cómo imprimir con FilaFlex*. [online] Available at: <https://recreus.com/es/content/12-como-imprimir-con-filaflex> [Accessed 8 May 2019].

[47] Learnchannel. (2017). *Encoder Incremental (Encoder de Eje) - como funciona*. [online] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=zzHcsJDV3_o [Accessed 8 May 2019].

[48] En.wikipedia.org. (2019). *Open collector*. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Open_collector [Accessed 8 May 2019].

[49] YouTube. (2019). *Respuesta: Implementación de Salida Open Collector*. [online] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=pBmcZx8oBLM> [Accessed 8 May 2019].

[50] endesa. (2019). *¿Cuánto consume una impresora 3D?*. [online] Available at: <https://www.endesaclientes.com/blog/cuanto-consume-impresora3d> [Accessed 6 Sep. 2017].

[51] Erazo Fernández, José Ricardo
Diseño y construcción de un robot paralelo de configuración DELTA de cuatro grados de libertad.
Erazo Fernández, José Ricardo - Quito, Ecuador. UIDE. 2017. - 122p. il, tbs, img, cuadr. 30 cm.
Cd.

[52] Tutorial sensor de corriente ACS712. (2016). [Blog] *naylampmechatronics*. Available at: https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html [Accessed 10 May 2019].

[53] electroschematics. (2019). *Rotary Encoder & Arduino*. [online] Available at: <https://www.electroschematics.com/12012/rotary-encoder-arduino/> [Accessed 21 May 2019].

[54] Henry's Bench. (2019). *Keyes KY-040 Arduino Rotary Encoder User Manual*. [online] Available at: <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-sensors-and-input/keyes-ky-040-arduino-rotary-encoder-user-manual/> [Accessed 10 May 2019].

[55] Cursoarduino.proserquisa.com. (2019). *Tutorial 14: Uso del Relé KY-019*. [online] Available at: <http://cursoarduino.proserquisa.com/2016/10/05/tutorial-14-uso-del-rele-ky-019/> [Accessed 10 May 2019].

[56] Gil Tesa, A. (2017). *Arduino - Menu for LCD I2C + Encoder*. <http://giltesa.com>.

[57] Llamas, L. (2019). *Medir intensidad y consumo eléctrico con Arduino y ACS712*. [online] Luis Llamas. Available at: <https://www.luisllamas.es/arduino-intensidad-consumo-electrico-ac712/> [Accessed 12 May 2019].

11. ANNEXOS

11.1. ANNEX I. COMPONENTS I PLÀNOLS DE PECES.

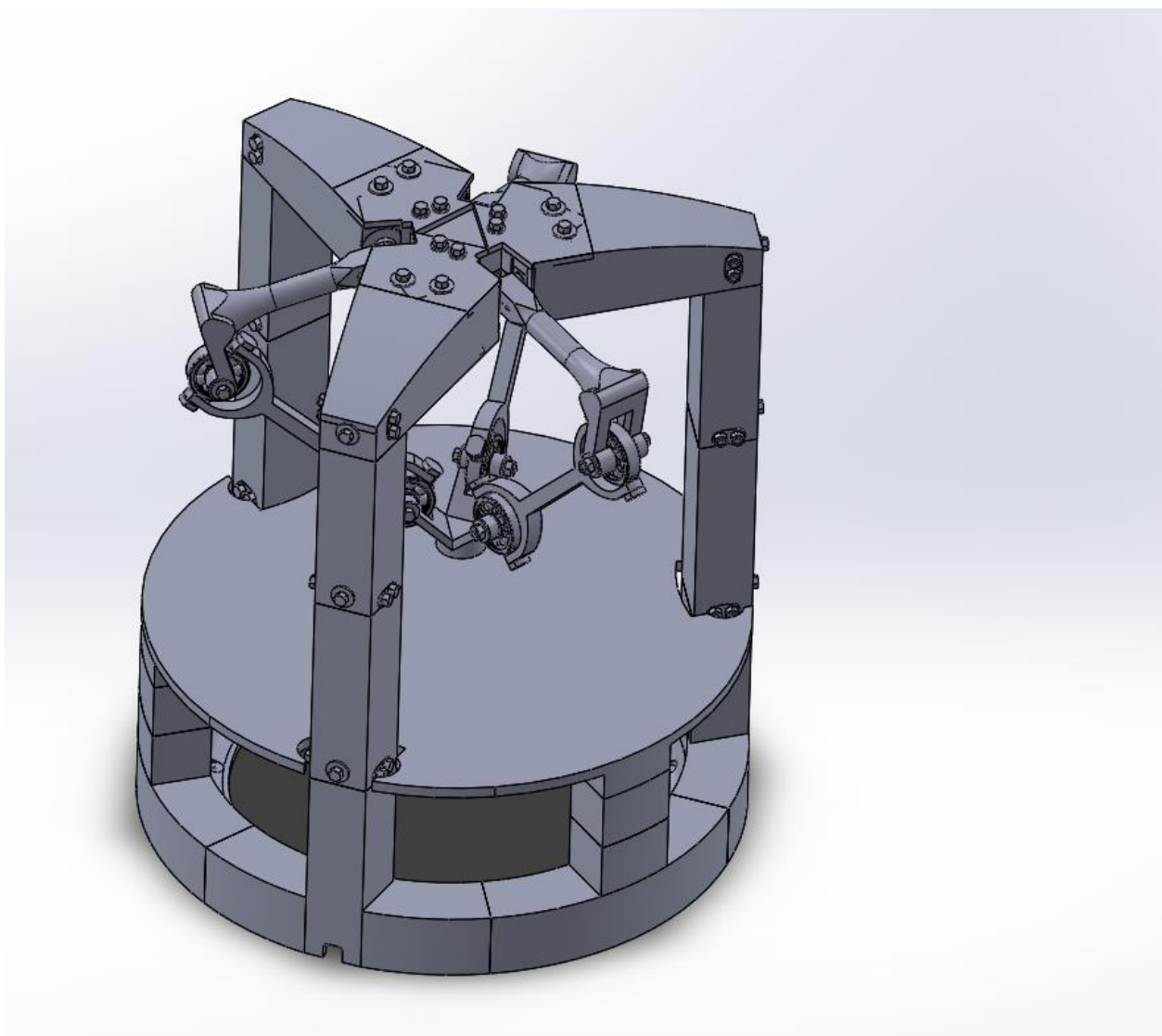


Figura: 11-1 Assemblatge complert Robot Delta

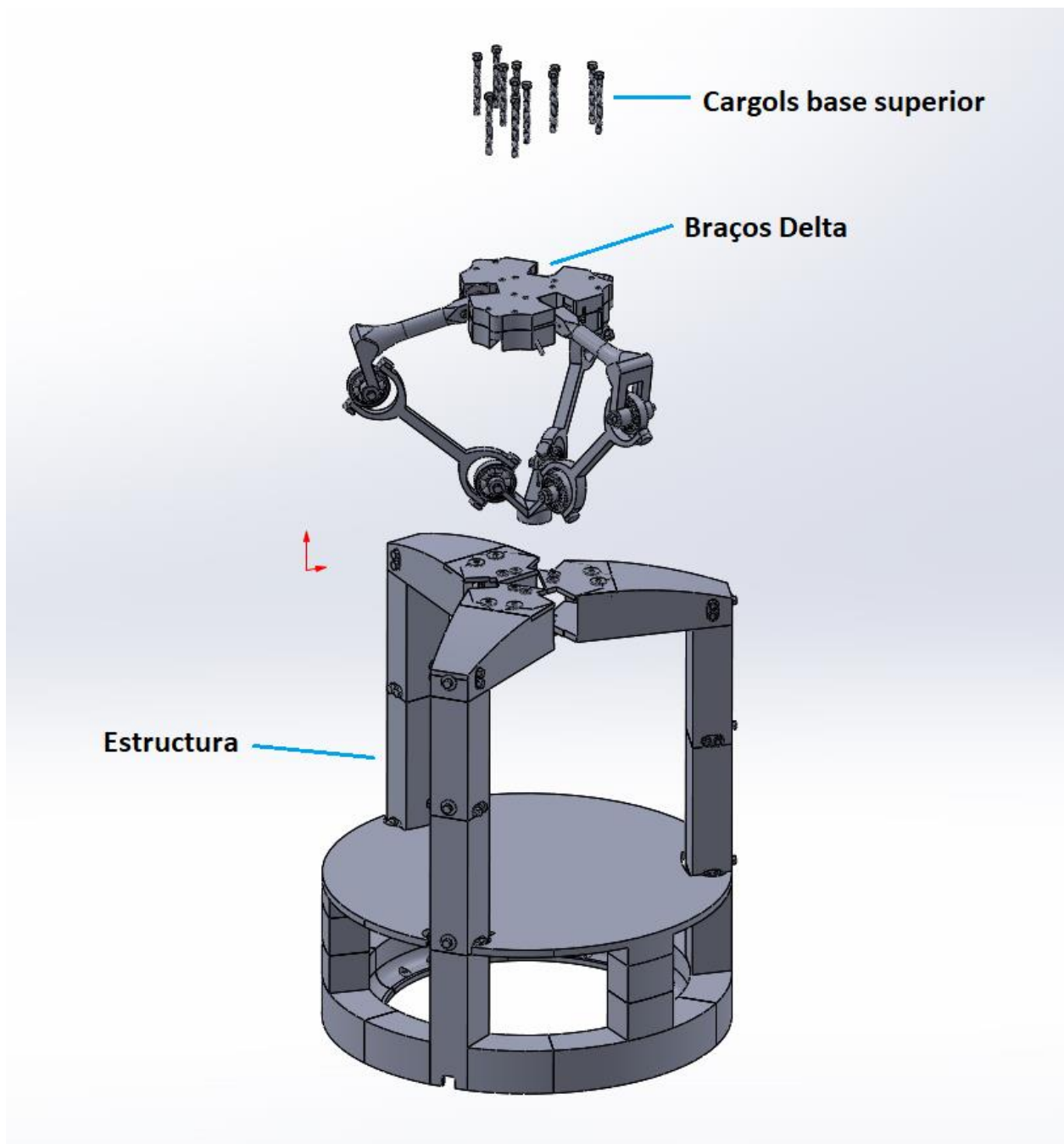


Figura: 11-2 Assemblatge braços i estructura

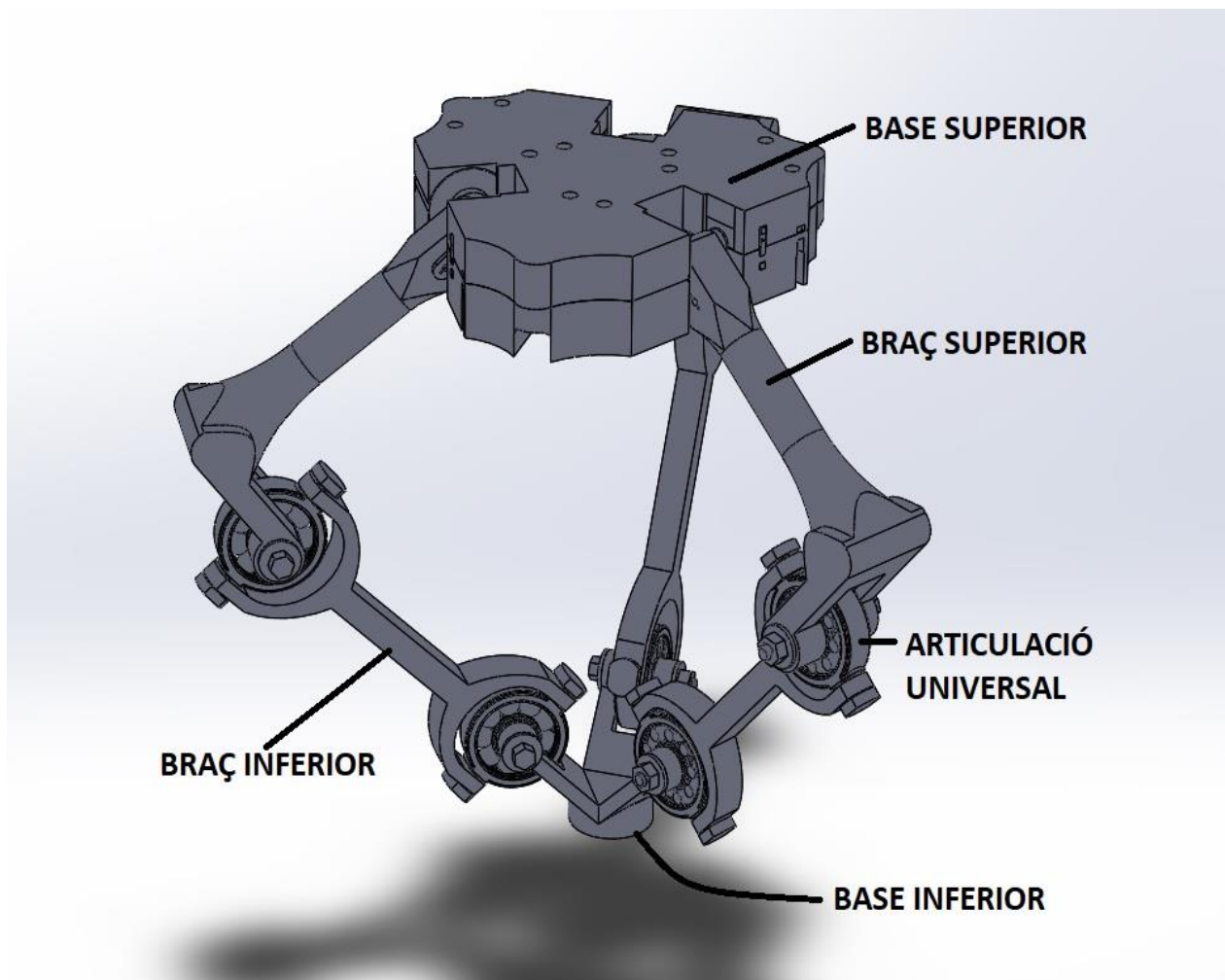


Figura: 11-3 Braços del Robot Delta

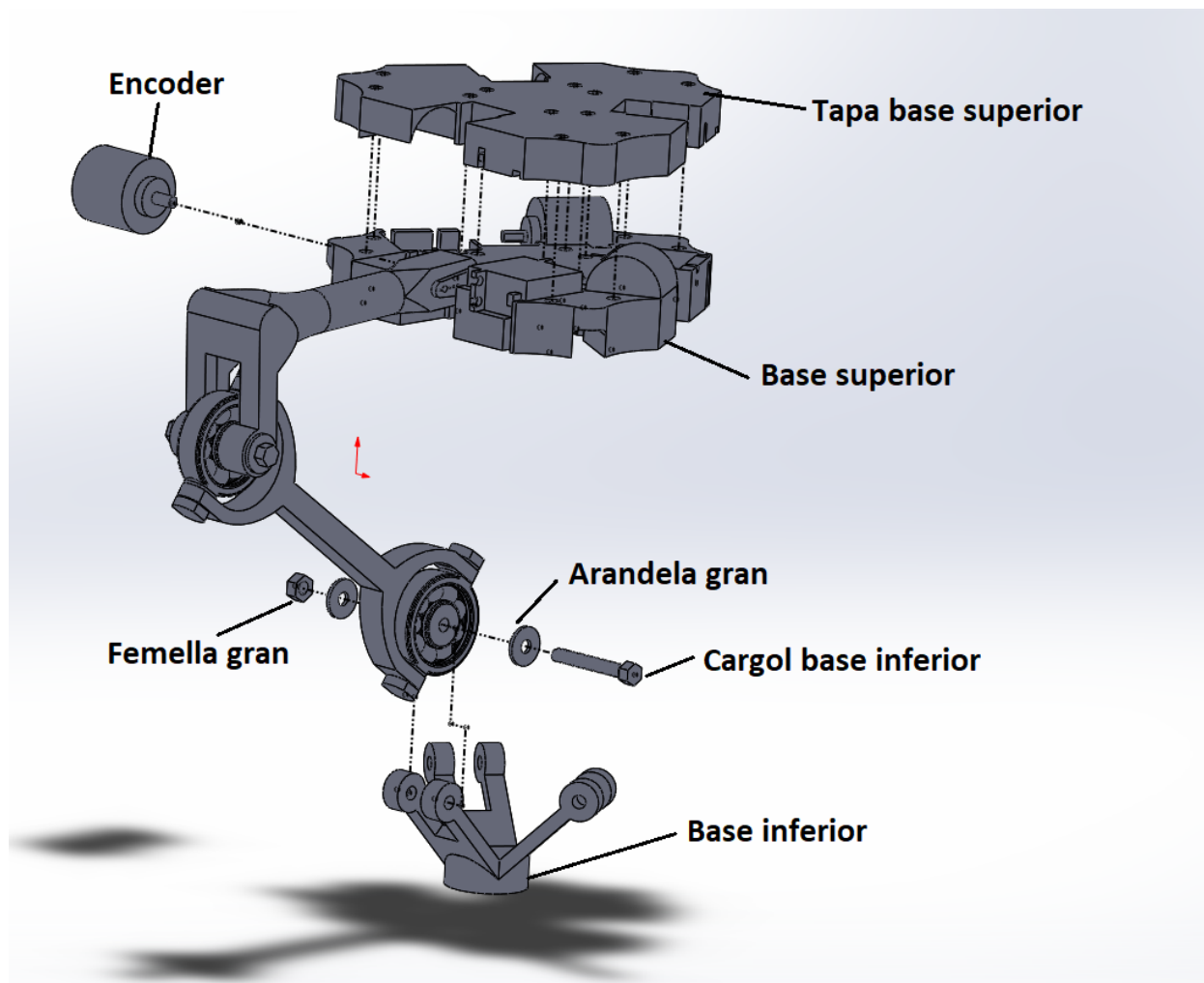


Figura: 11-4 Assemblatge d'un dels braços amb la base inferior i superior.

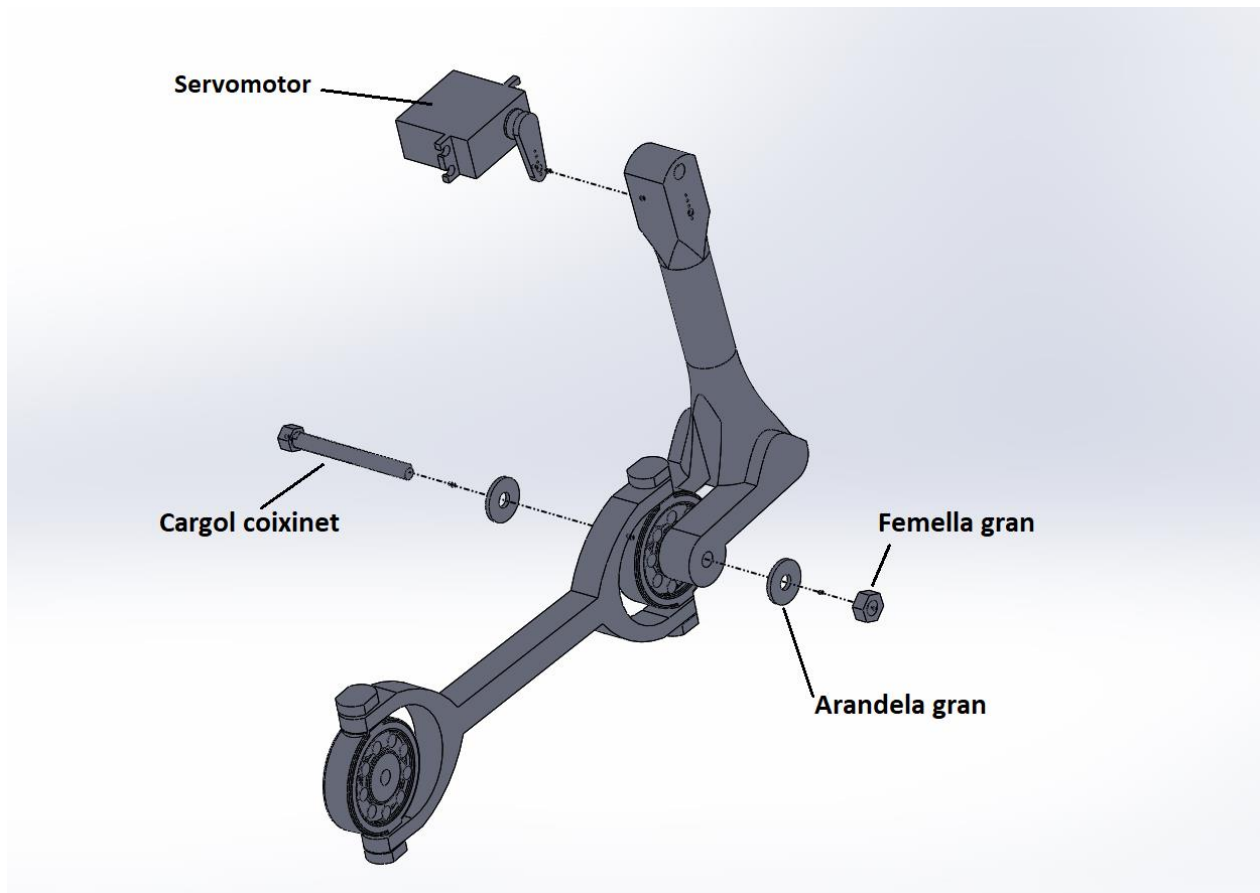


Figura: 11-5 Assemblatge d'un dels braços.

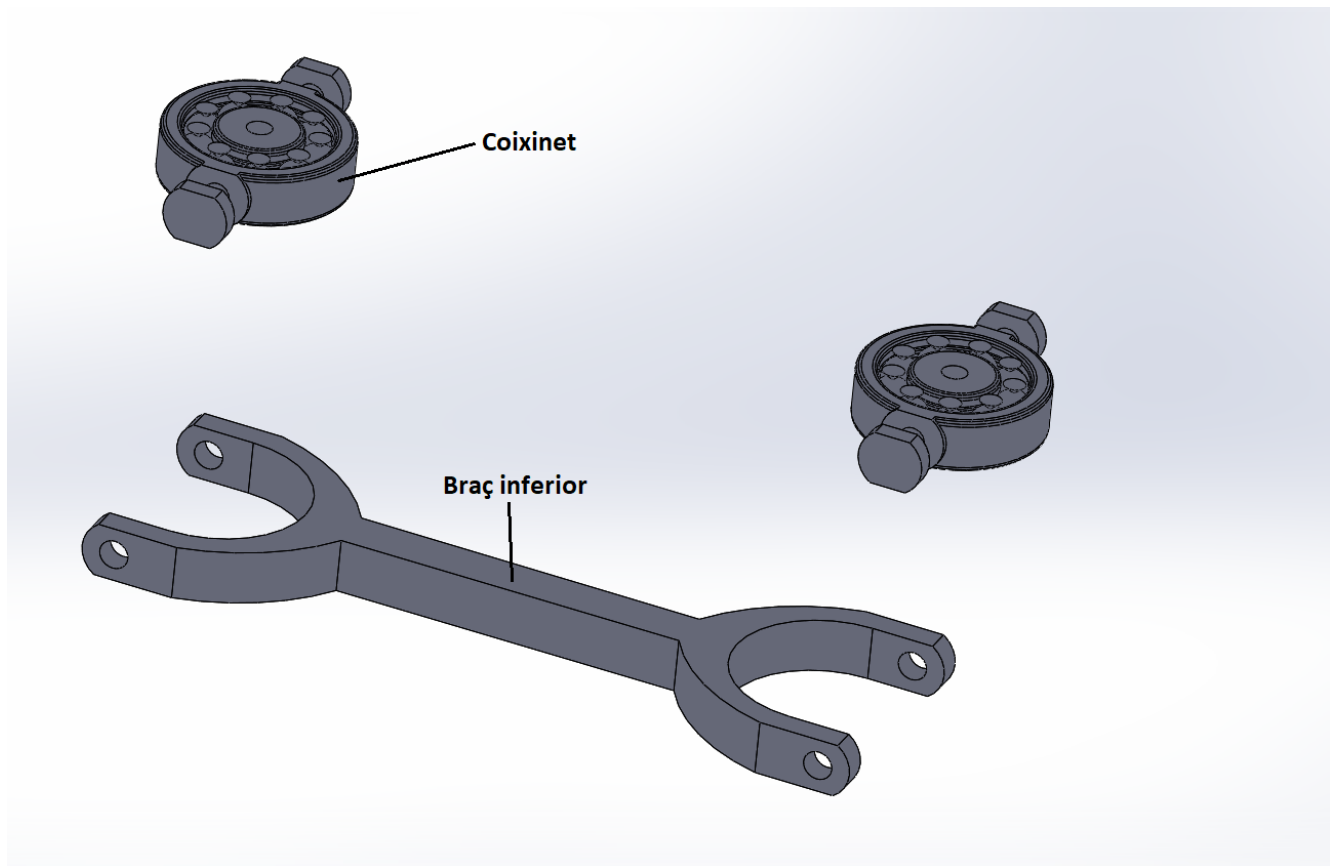


Figura: 11-6 Assemblatge del braç inferior amb els coixinets.

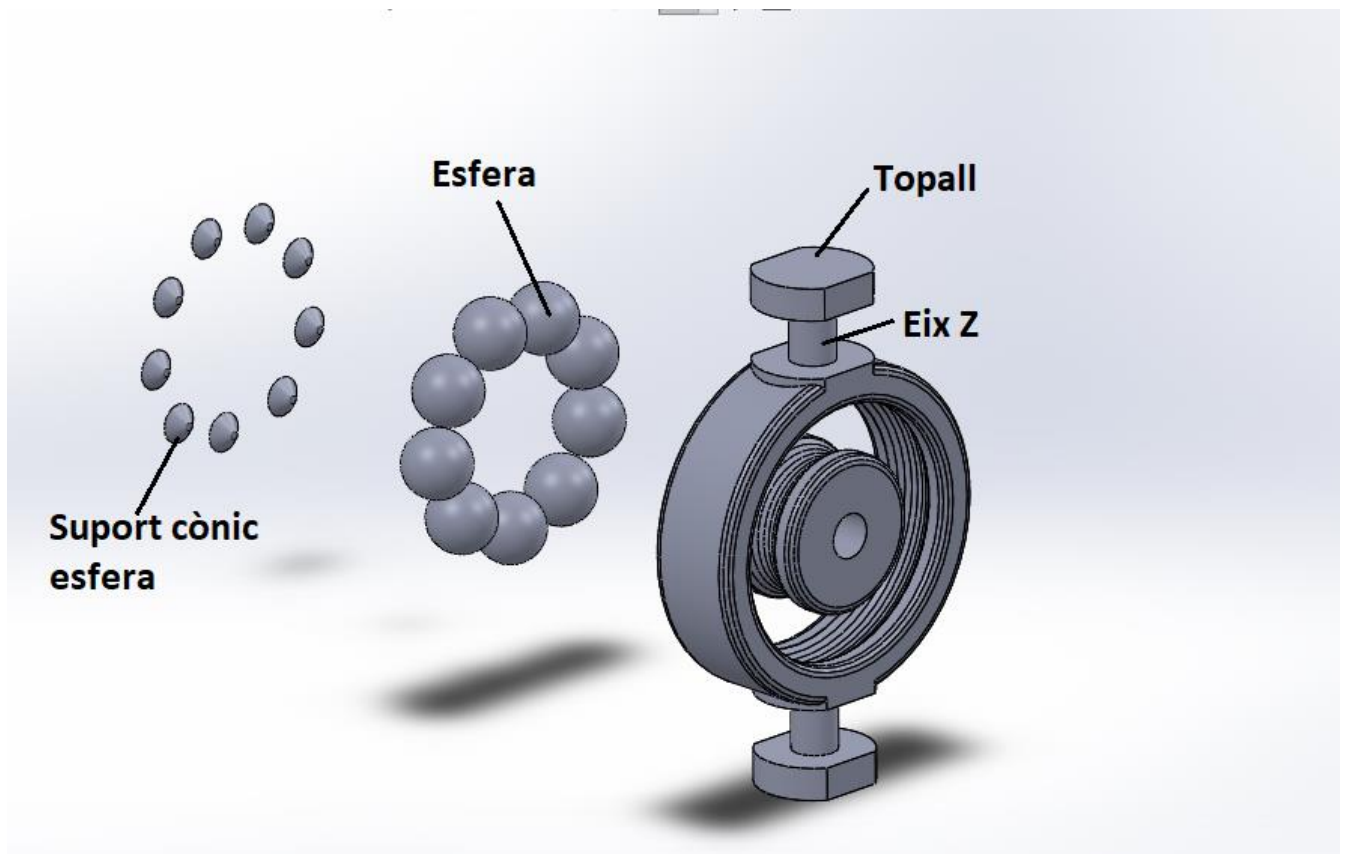


Figura: 11-7 Assemblatge del coixinet.

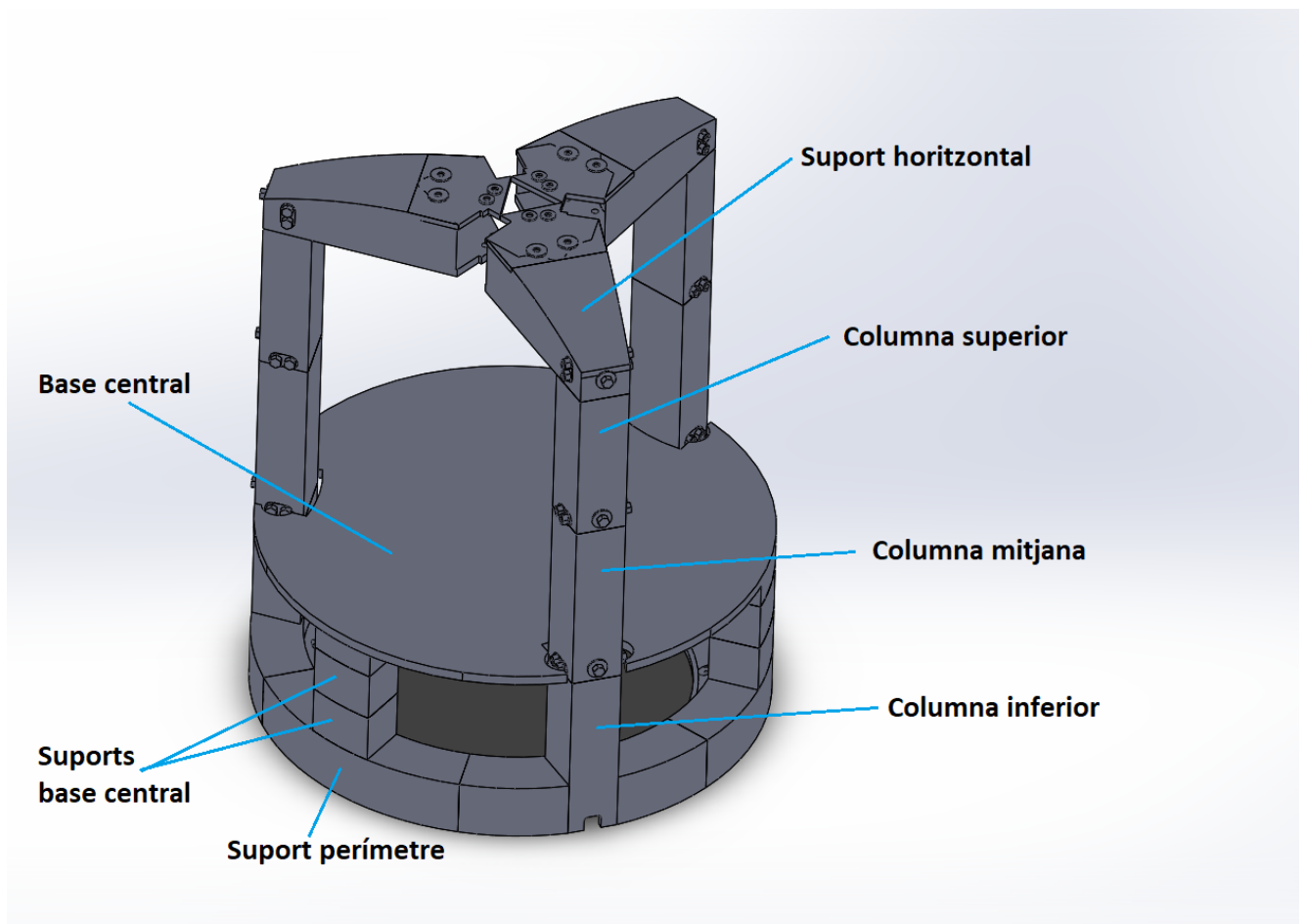


Figura: 11-8 Components de l'estructura.

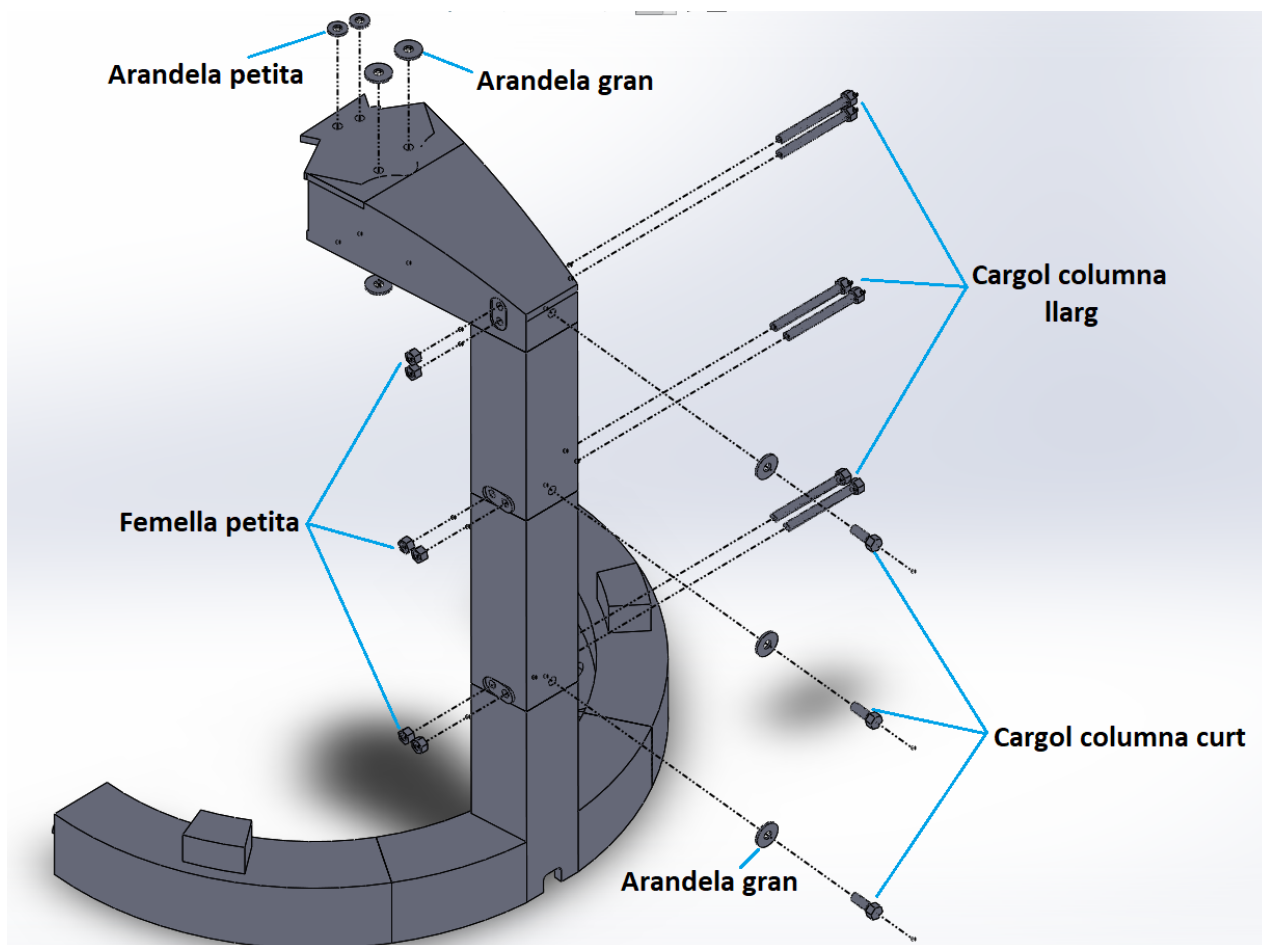
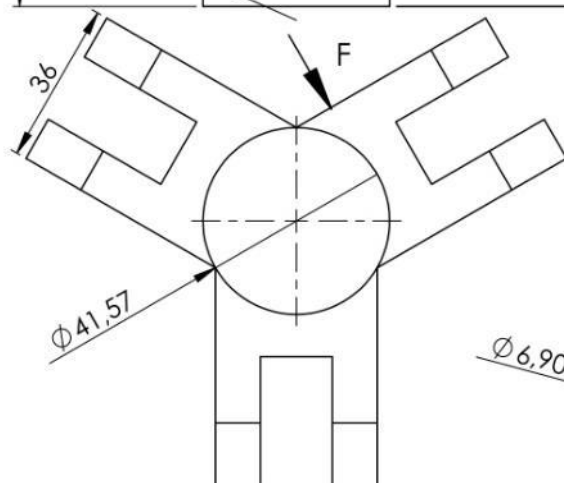
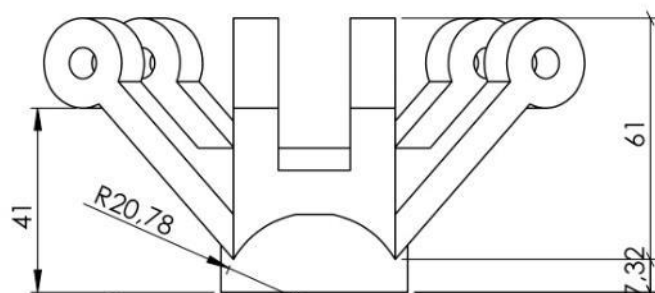
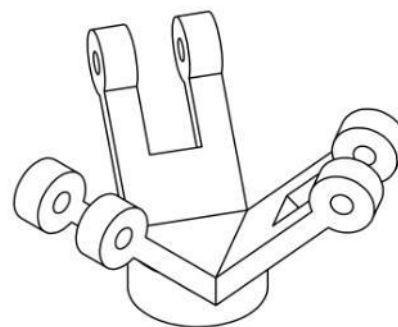
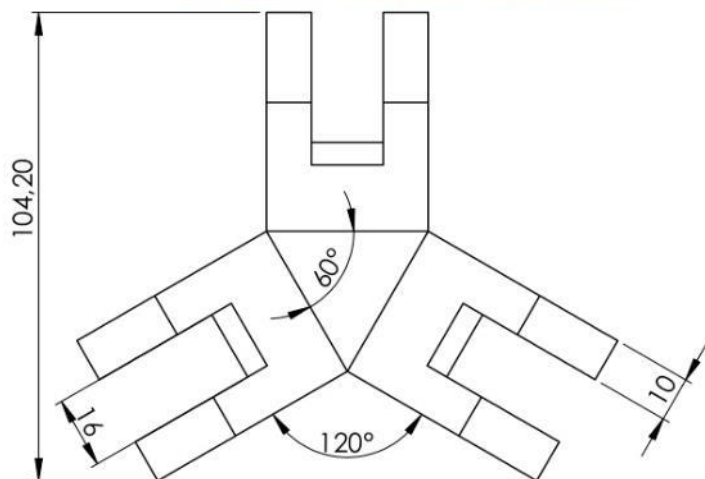


Figura: 11-9 Cargols columna estructura

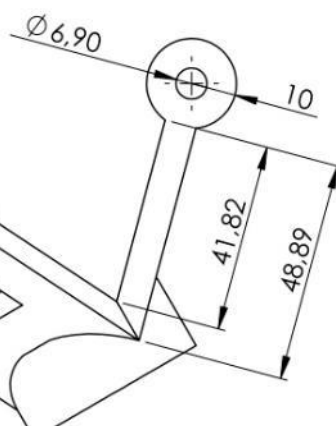


Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



VISTA F
ESCALA 1 : 1.5



TÍTOL PEÇA: BASE INFERIOR

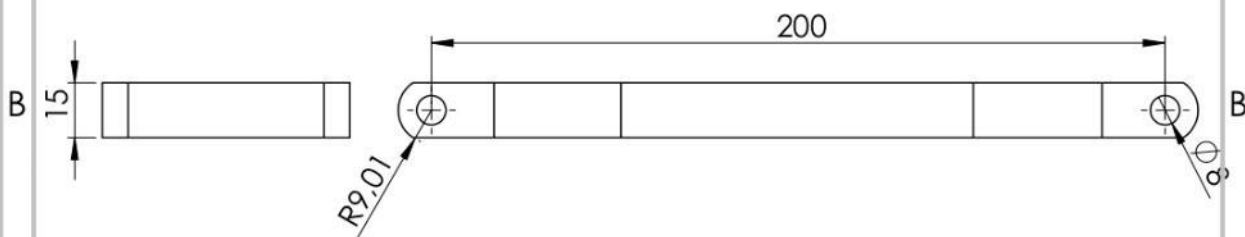
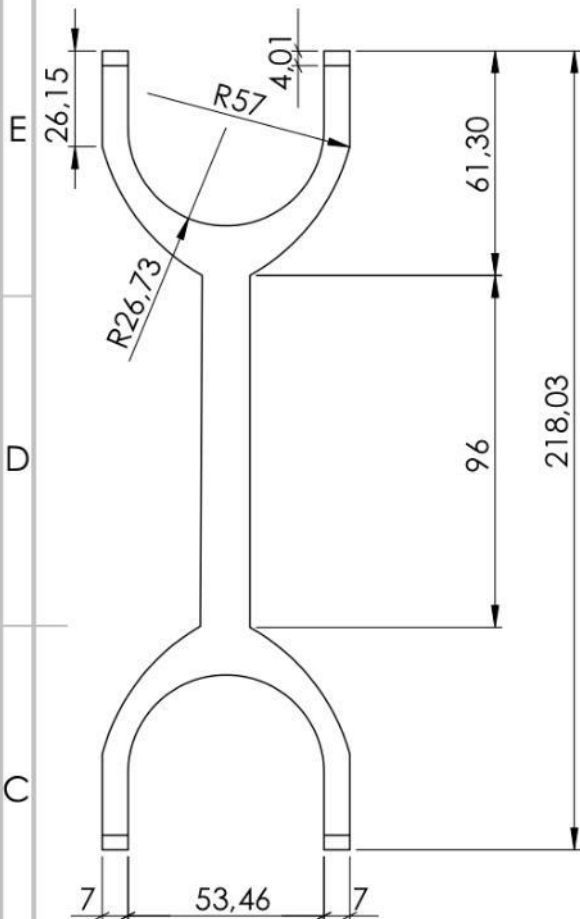
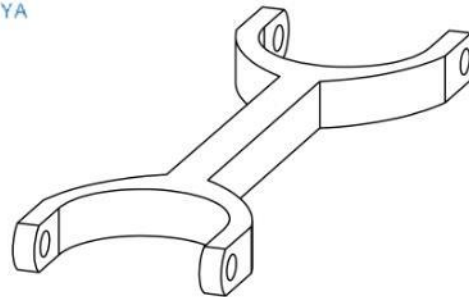
Pàg. 1

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 1.5
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



TÍTOL PEÇA: BRAÇ INFERIOR

Pàg. 3

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 1.8
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

F

F

E

E

D

D

C

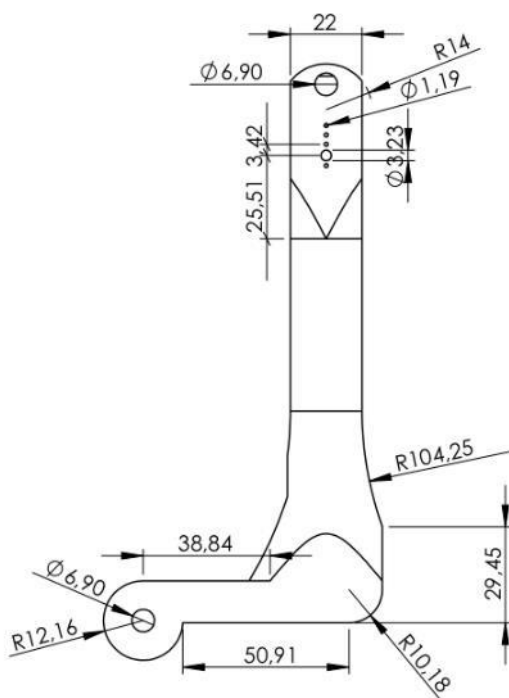
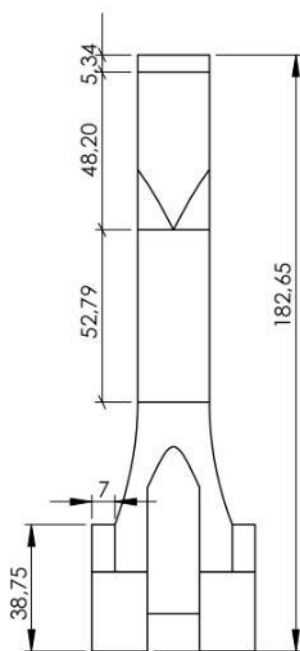
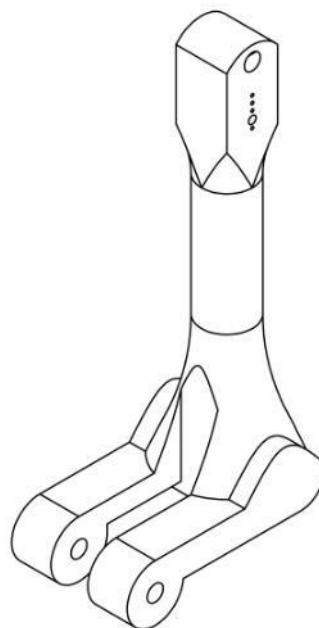
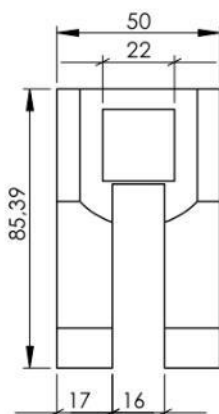
C

B

B

A

A



TÍTOL PEÇA: BRAÇ SUPERIOR

Pàg. 4

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 2
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

4

3

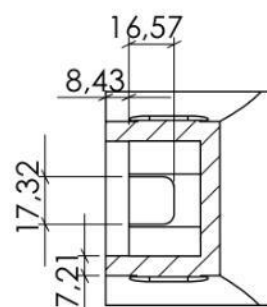
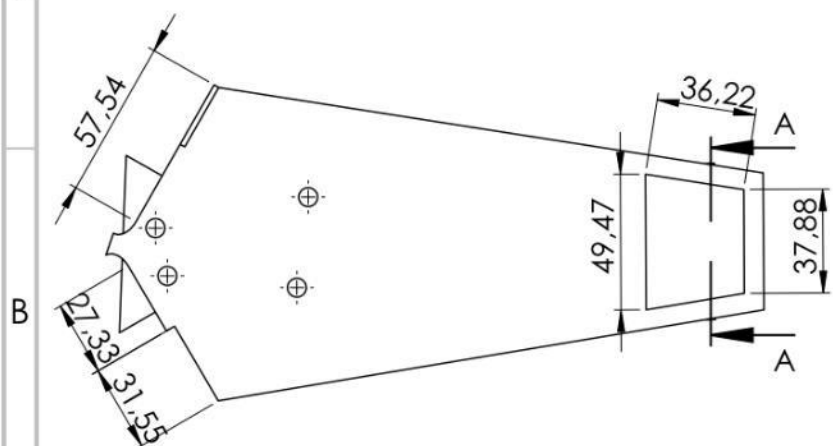
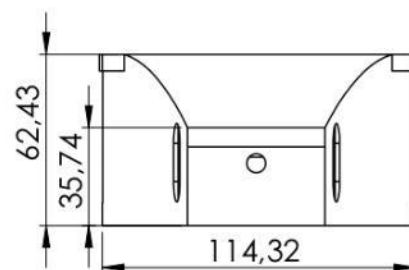
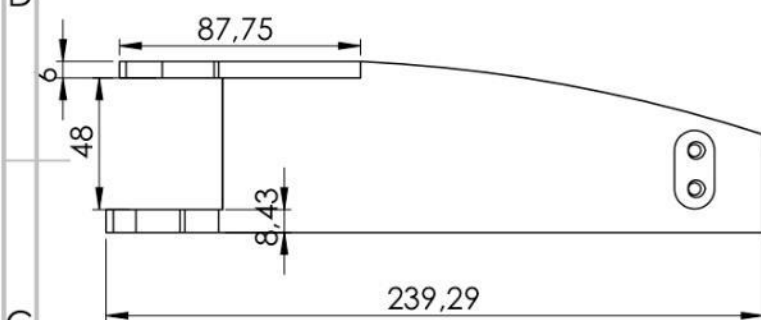
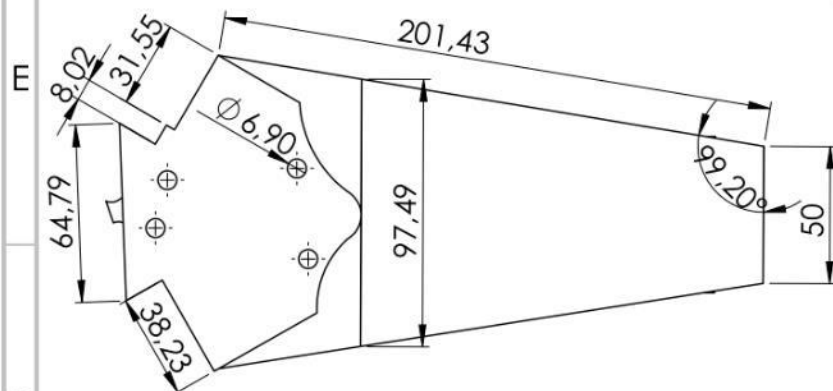
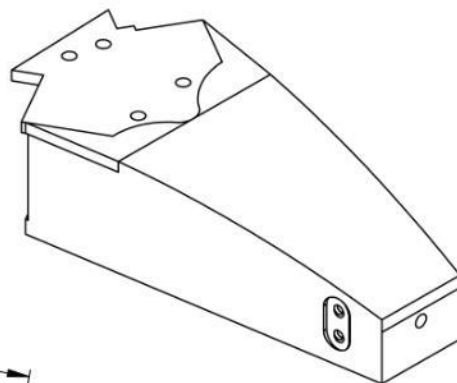
2

1



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2.4

TÍTOL PEÇA: SUPORT HORIZONTAL

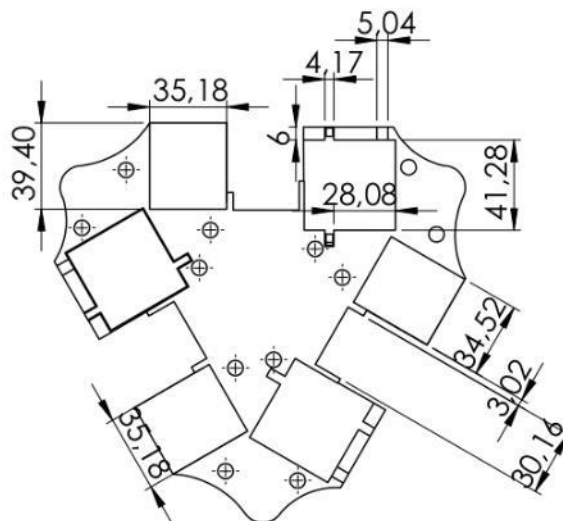
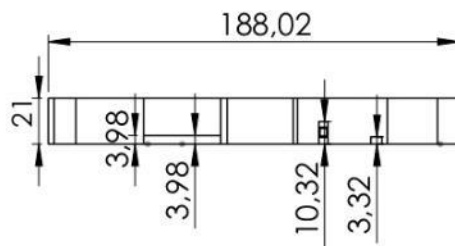
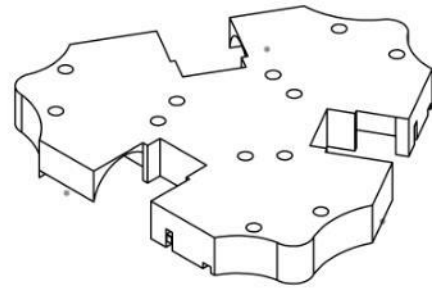
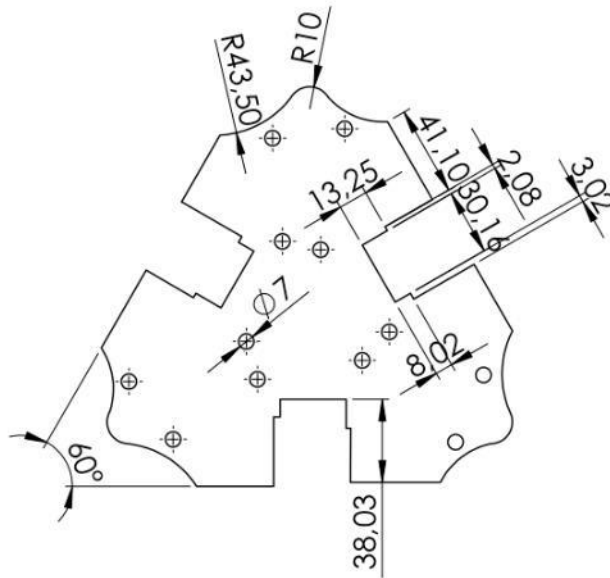
Pàg. 5

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 2.4
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



TÍTOL PEÇA: TAPA BASE SUPERIOR

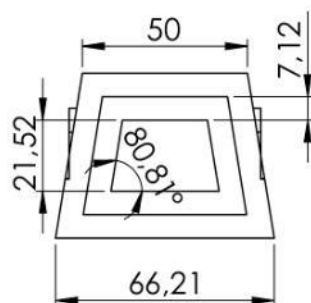
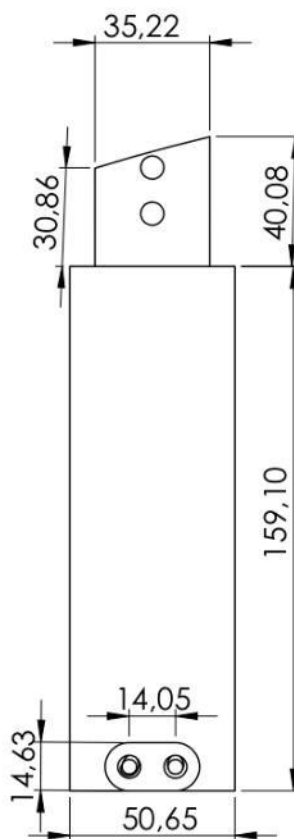
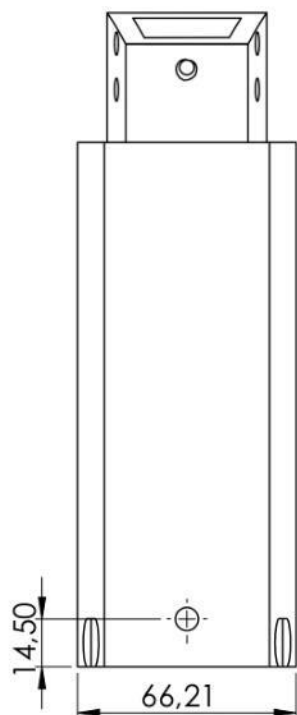
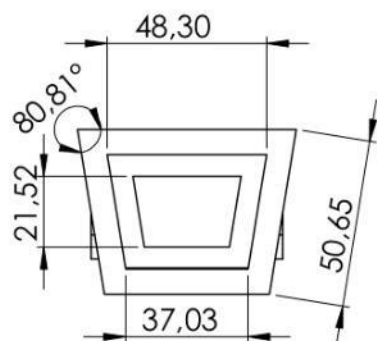
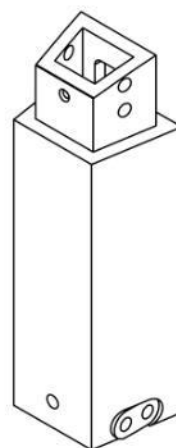
Pàg. 6

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 3
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



TÍTOL PEÇA: COLUMNA SUPERIOR

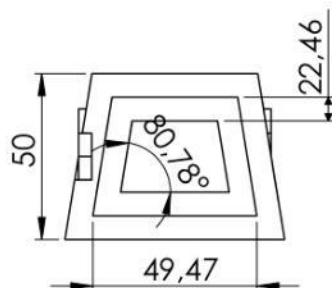
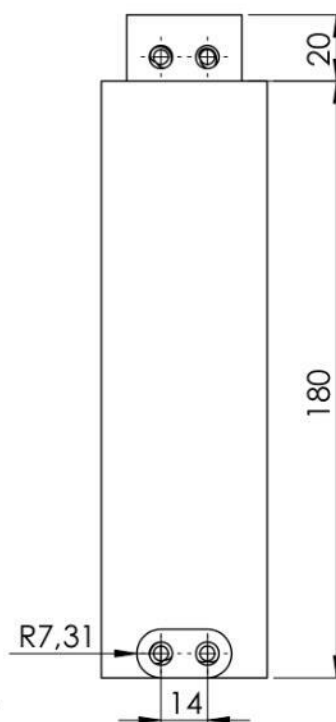
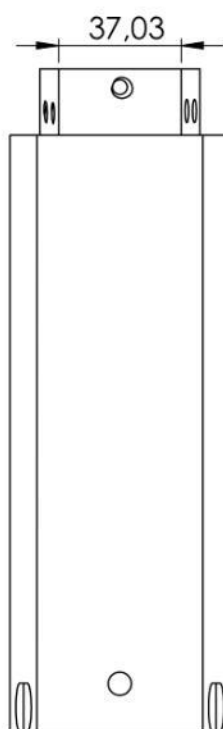
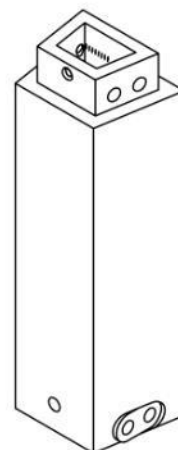
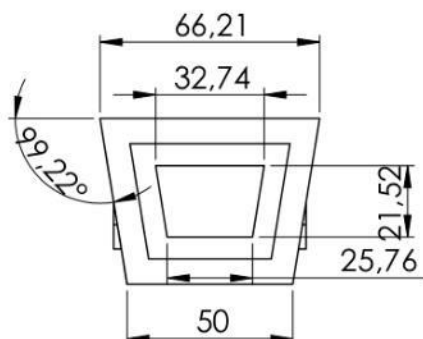
Pàg. 7

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 2
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



TÍTOL PEÇA: COLUMNA MITJANA

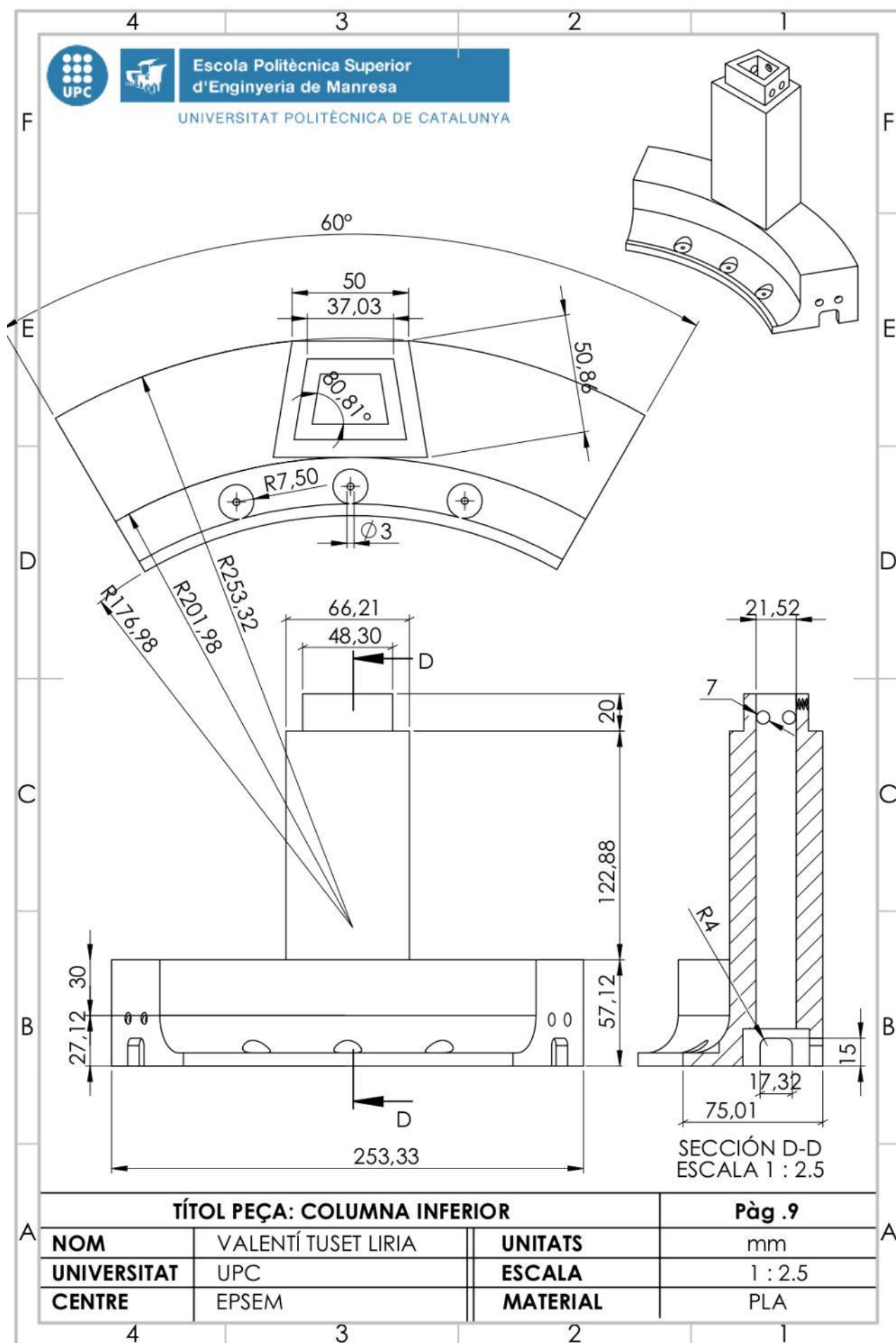
Pàg. 8

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 2
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

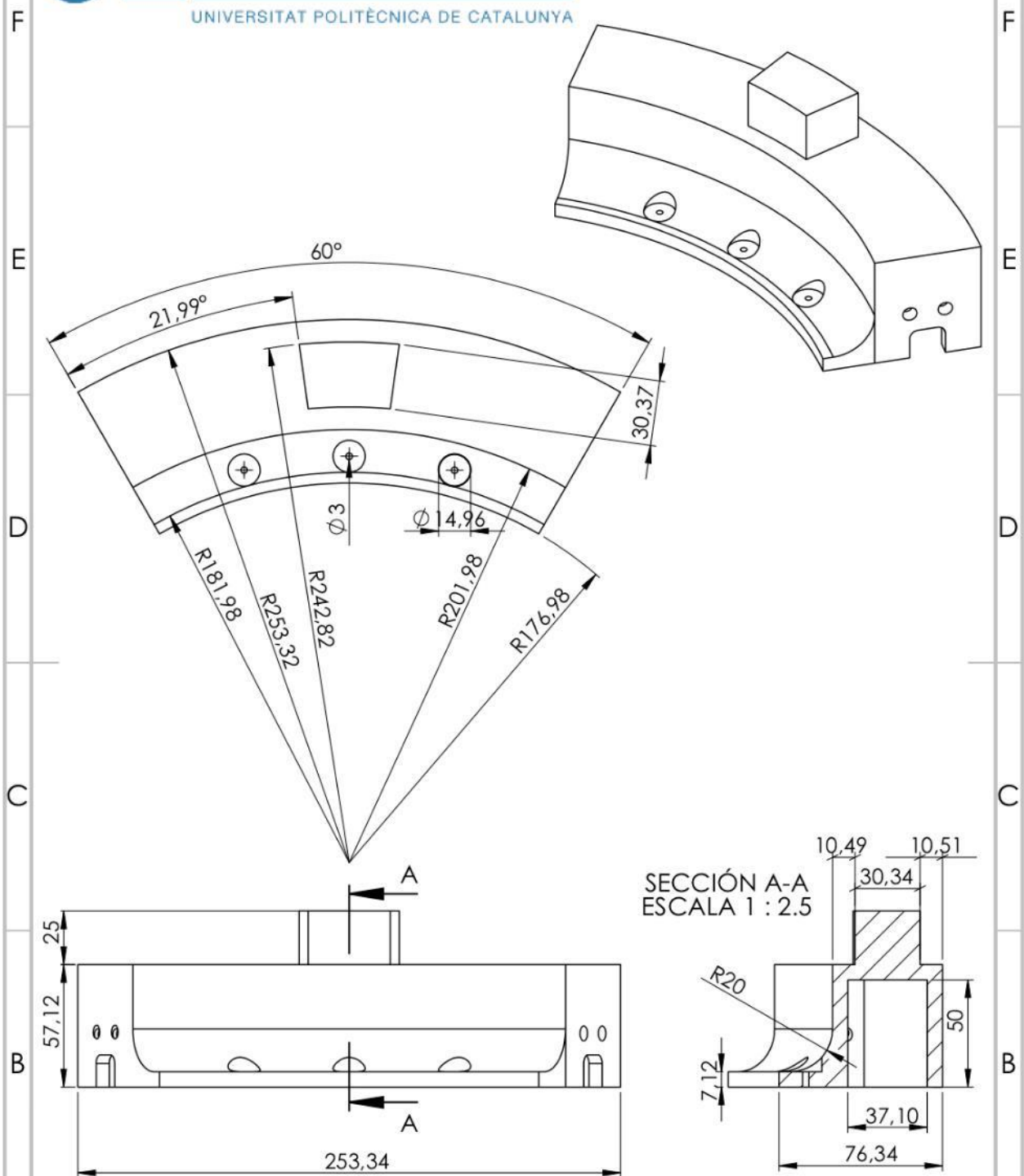
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA





Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

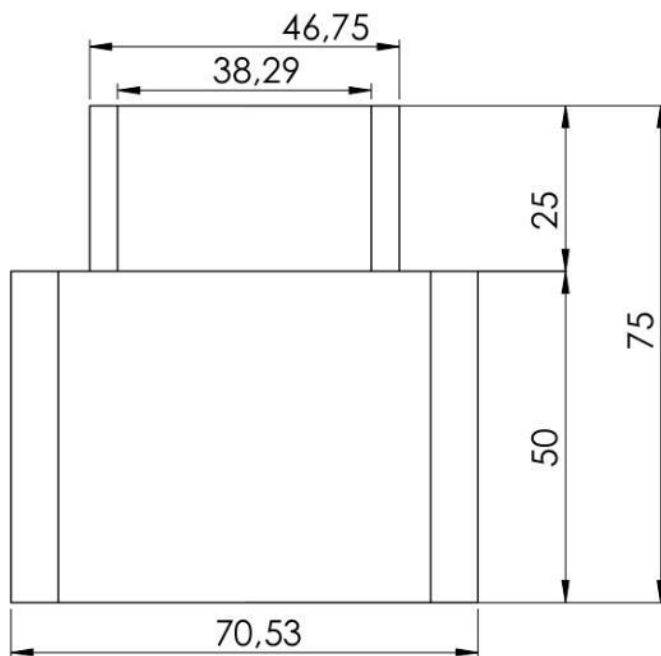
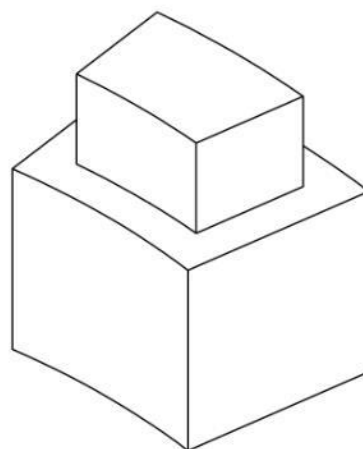
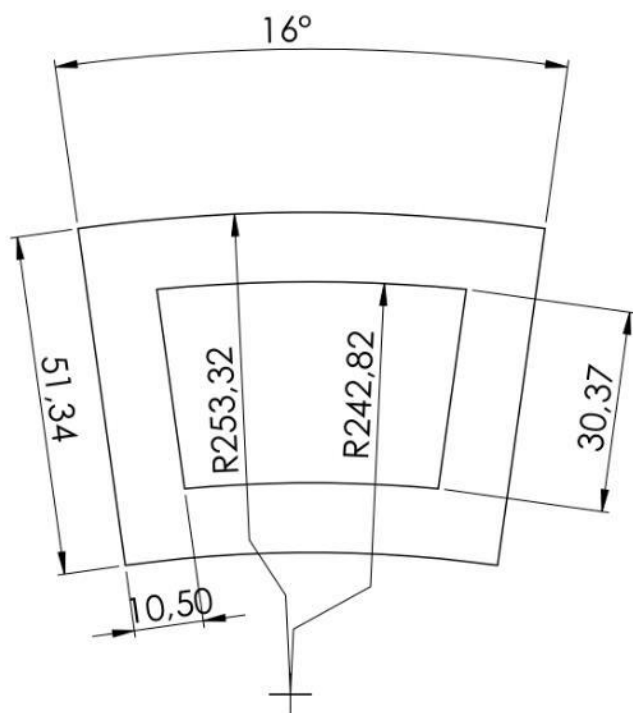


TÍTOL PEÇA: SUPORT PERÍMETRE			Pàg. 10
NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 2.5
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



TÍTOL PEÇA: SUPORT BASE CENTRAL

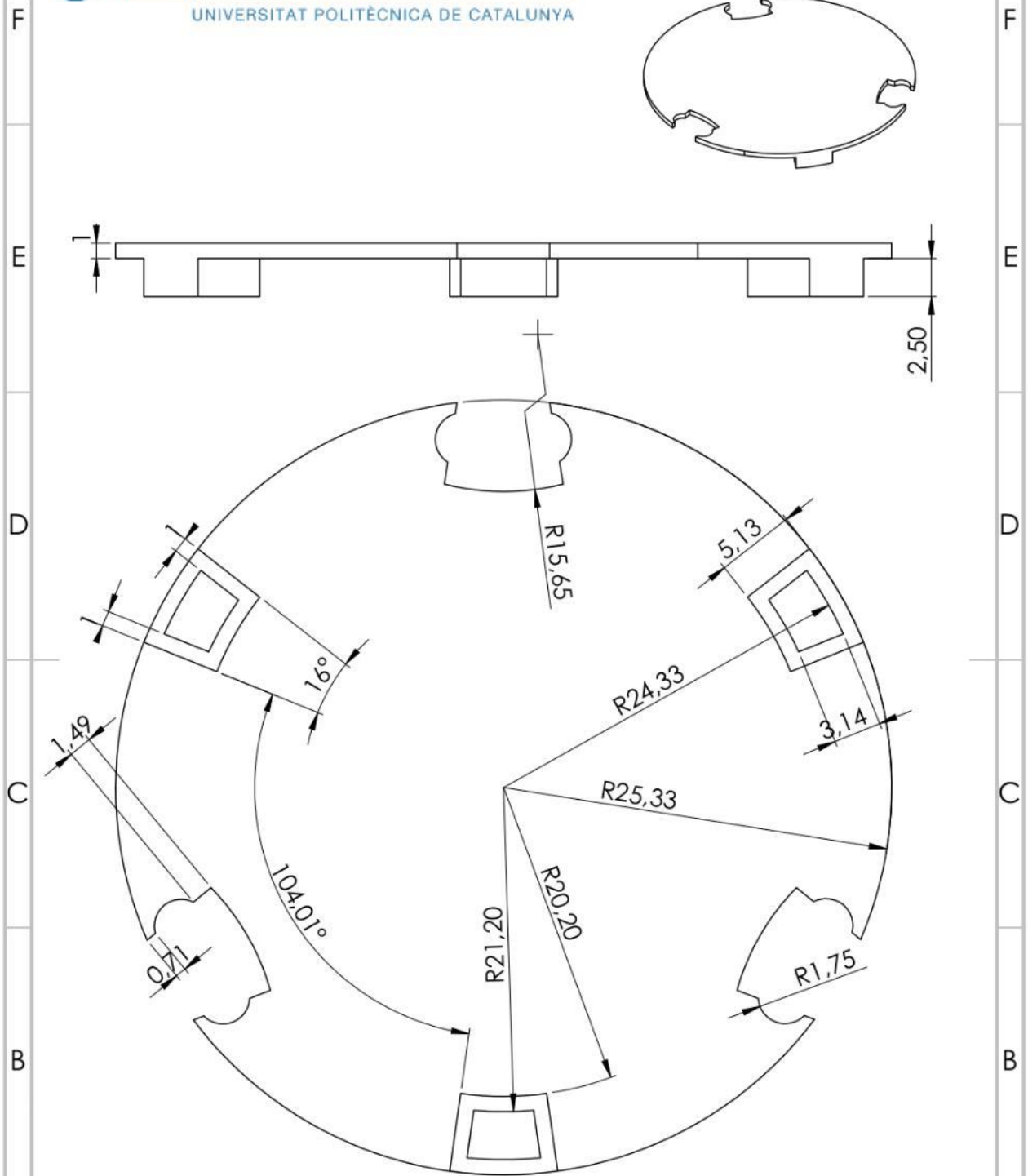
Pàg. 11

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



TÍTOL PEÇA: BASE CENTRAL

Pàg. 12

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 3.5
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

F

F

E

E

D

D

C

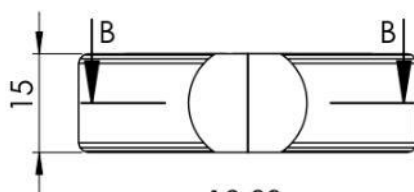
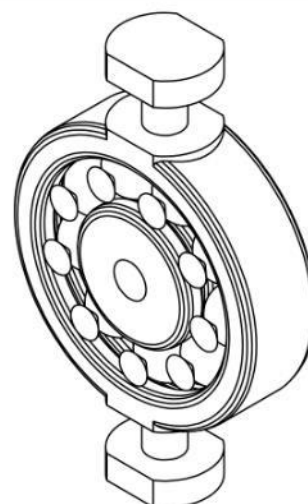
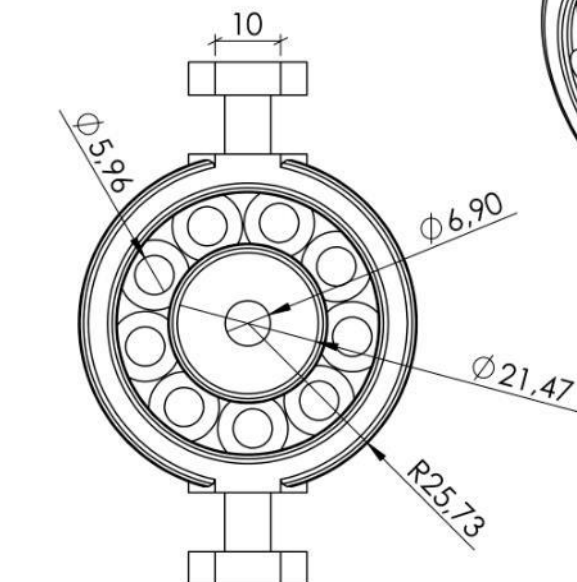
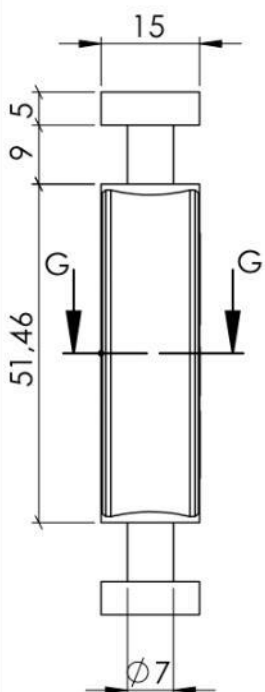
C

B

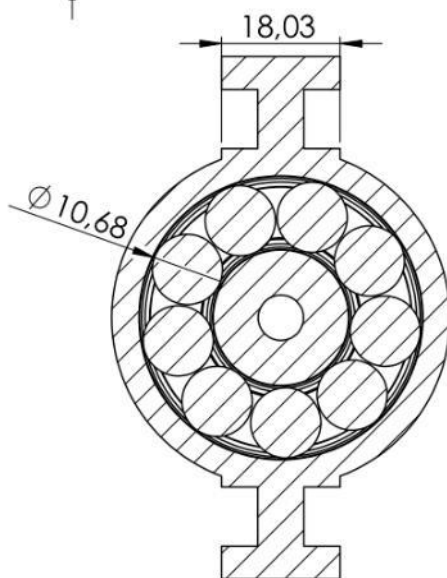
B

A

A



SECCIÓN G-G



SECCIÓN B-B

TÍTOL PEÇA: COIXINET

Pàg. 13

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

4

3

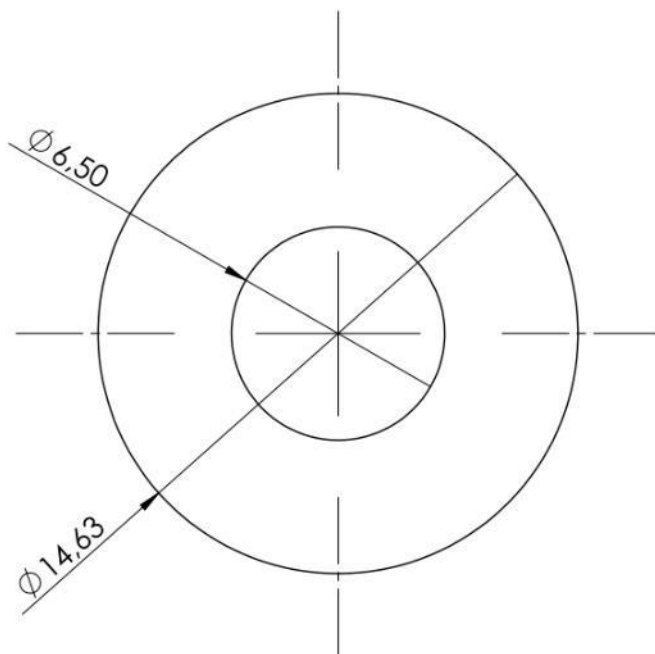
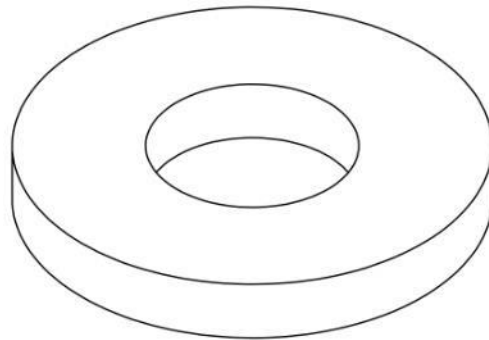
2

1



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



TÍTOL PEÇA: ARANDELA PETITA

Pàg. 14

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	5:1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

F

F

E

E

D

D

C

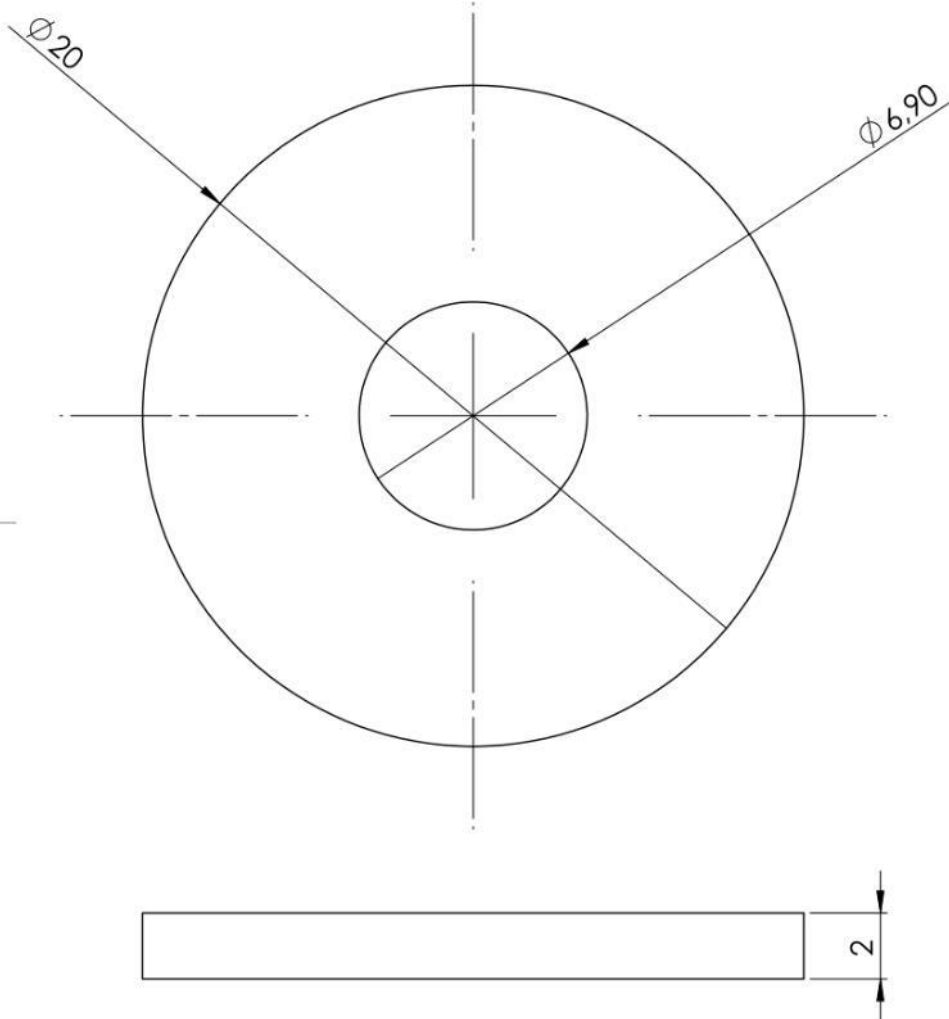
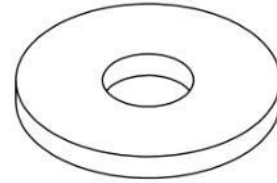
C

B

B

A

A



TÍTOL PEÇA: ARANDELA GRAN

Pàg. 15

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	5:1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

4

3

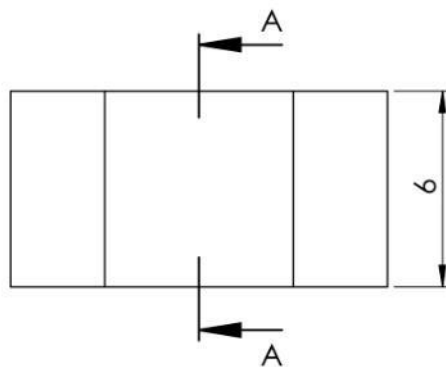
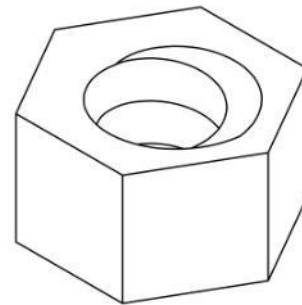
2

1

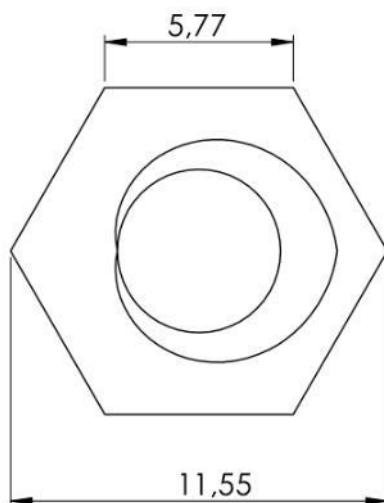
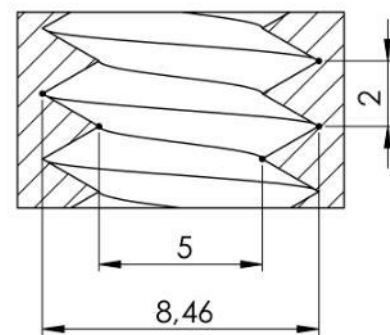


Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



SECCIÓN A-A



TÍTOL PEÇA: FEMELLA PETITA

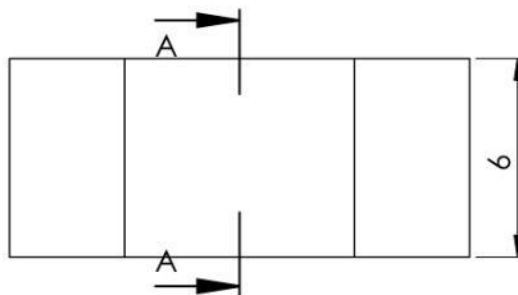
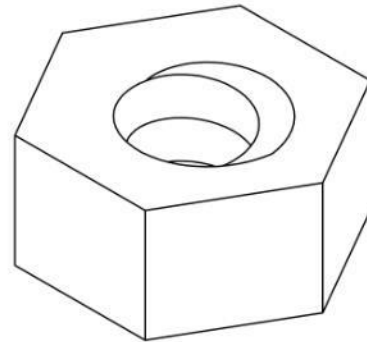
Pàg. 16

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	5:1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

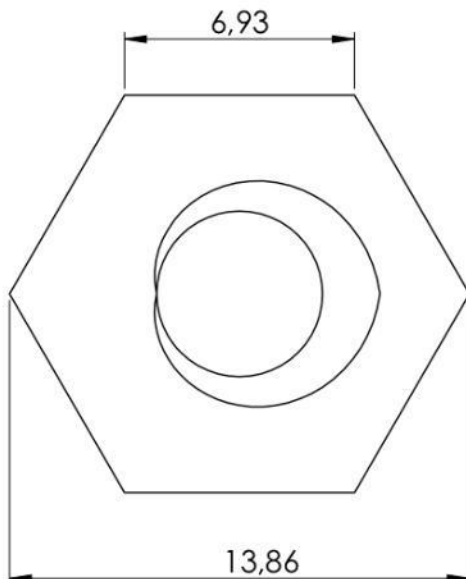
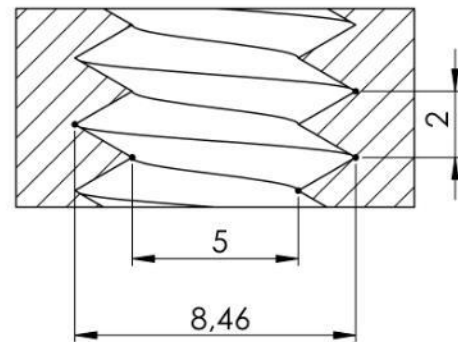


Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



SECCIÓN A-A
ESCALA 5 : 1



TÍTOL PEÇA: FEMELLA GRAN

Pàg. 17

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	5:1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

F

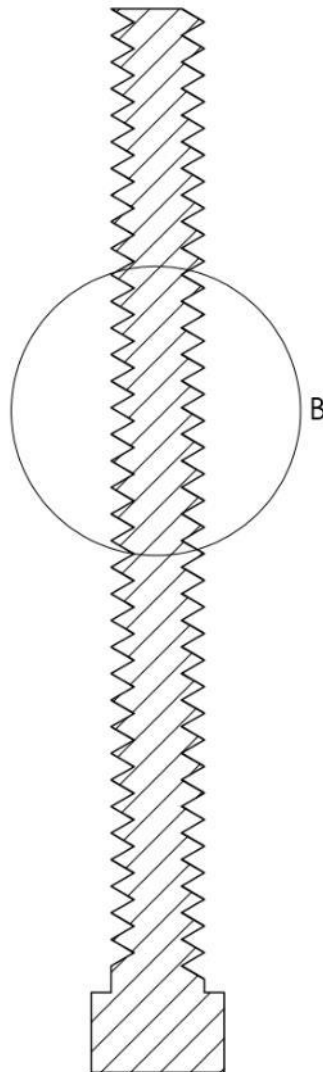
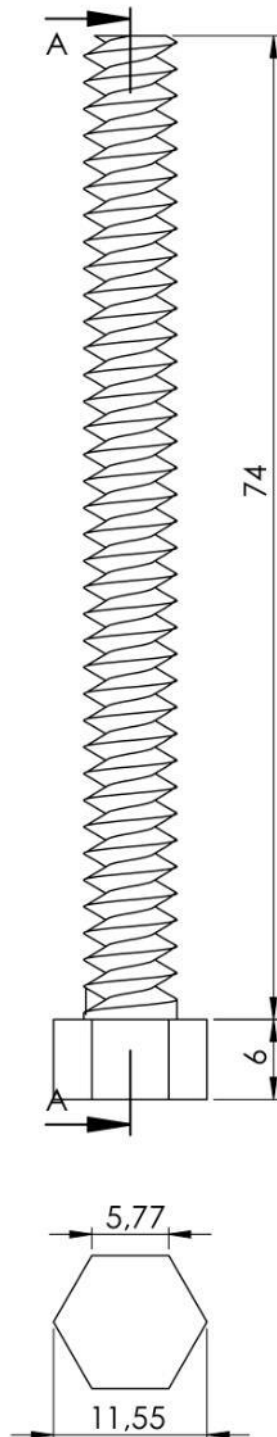
E

D

C

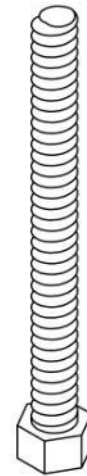
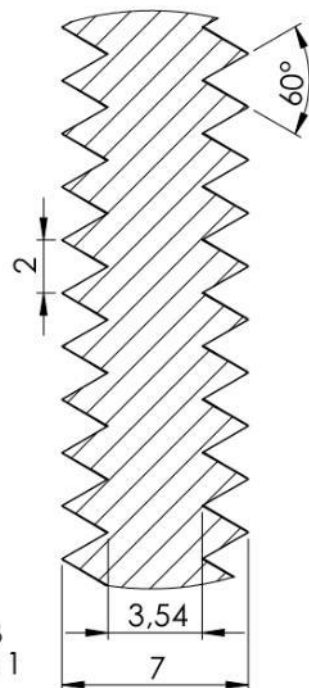
B

A



SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

DETALLE B
ESCALA 4 : 1



F

E

D

C

B

A

TÍTOL PEÇA: CARGOL BASE SUPERIOR

Pàg.18

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	2:1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

4

3

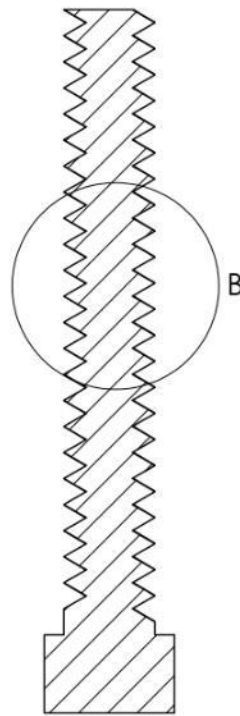
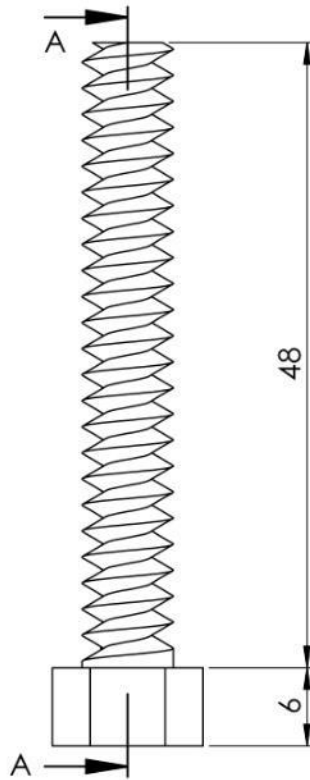
2

1

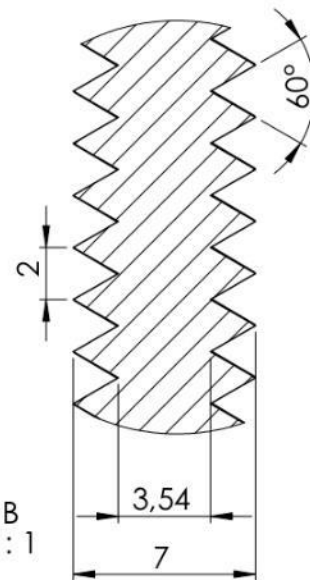
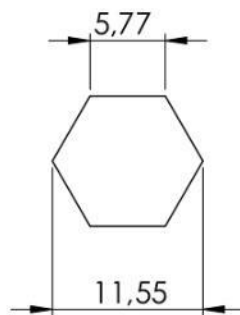


Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

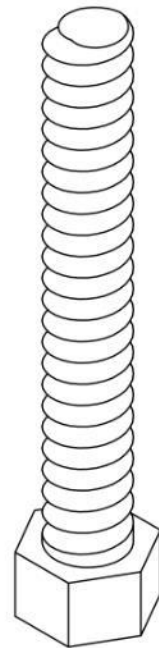
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



SECCIÓN A-A



DETALLE B
ESCALA 4 : 1



TÍTOL PEÇA: CARGOL BASE INFERIOR

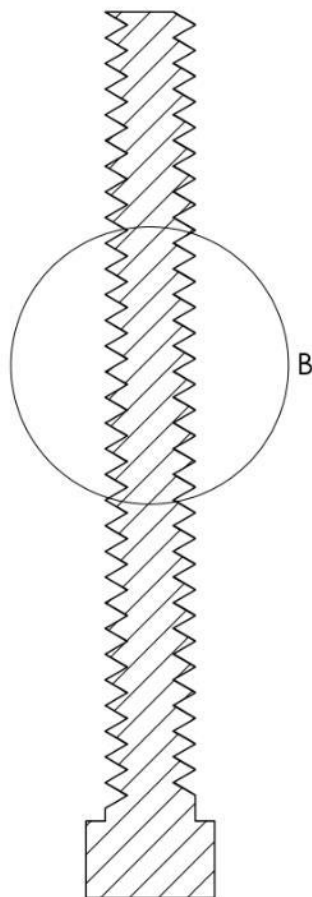
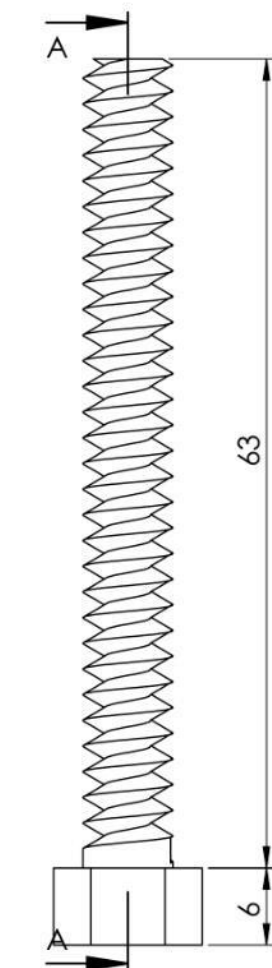
Pàg. 19

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	2 : 1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

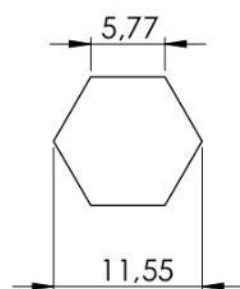
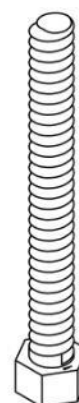


Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

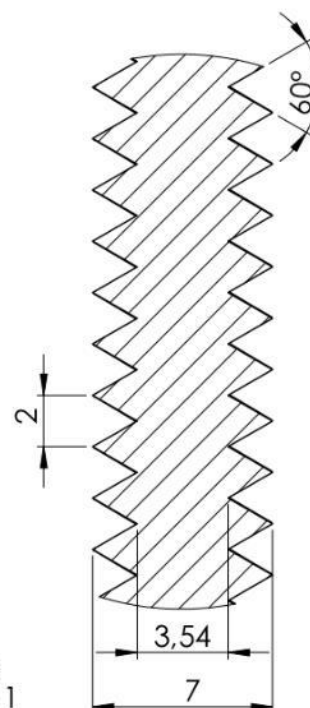
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



SECCIÓN A-A



DETALLE B
ESCALA 4 : 1



TÍTOL PEÇA: CARGOL COIXINET

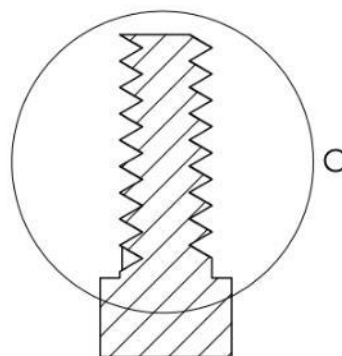
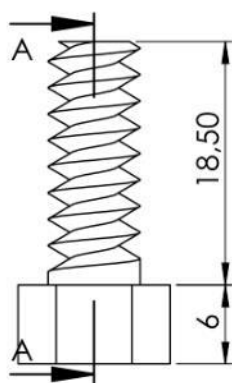
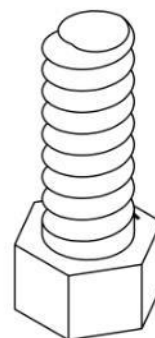
Pàg. 20

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	2 : 1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

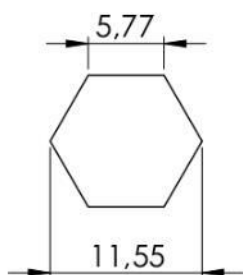


Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

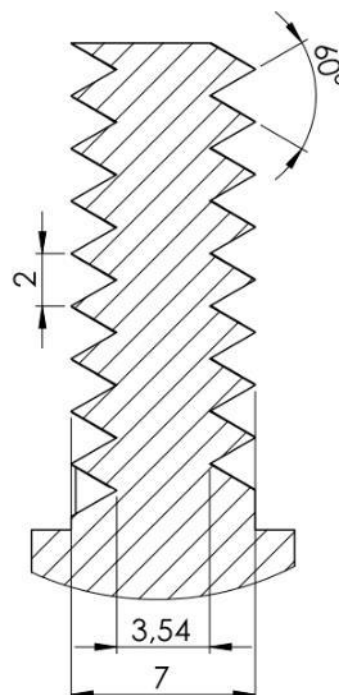
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



SECCIÓN A-A



DETALLE C
ESCALA 4 : 1



TÍTOL PEÇA: CARGOL COLUMNA CURT

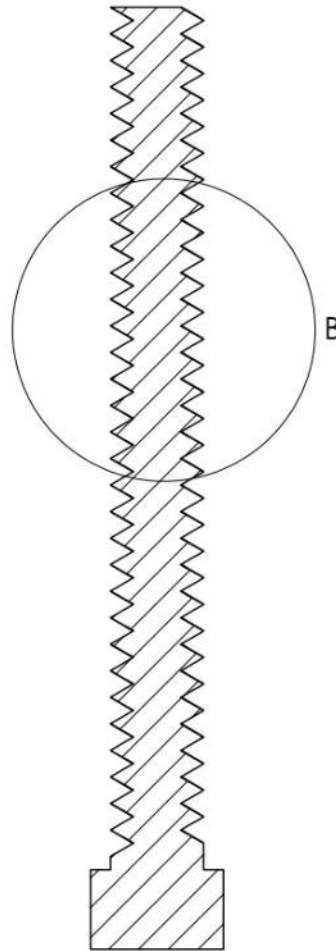
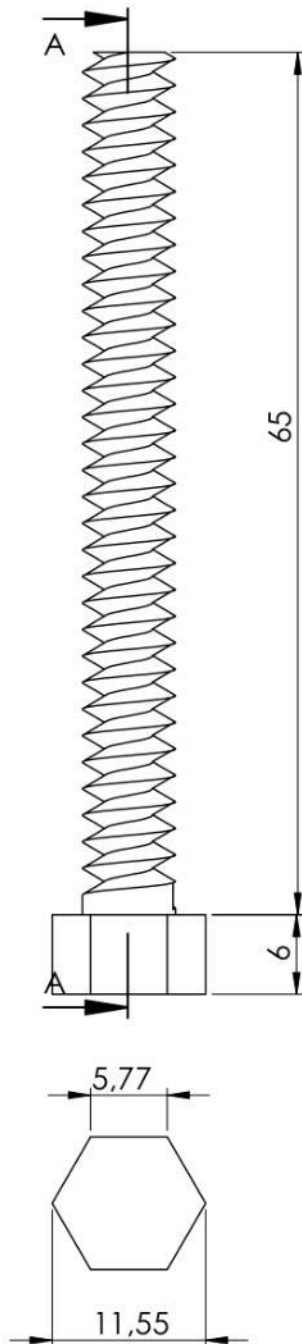
Pàg. 21

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	2 : 1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

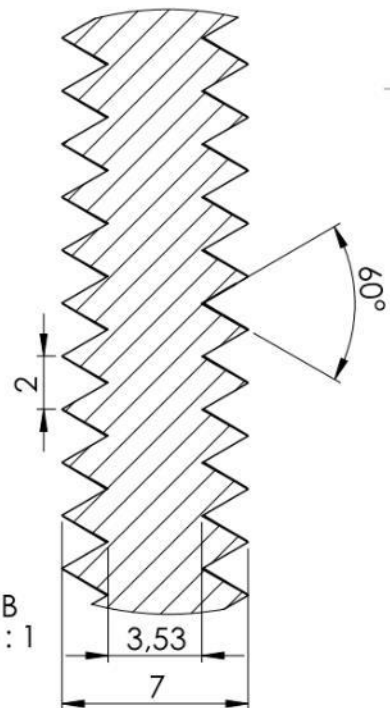


Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

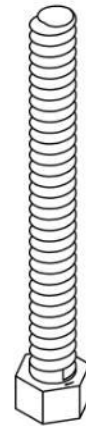
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1



DETALLE B
ESCALA 4 : 1

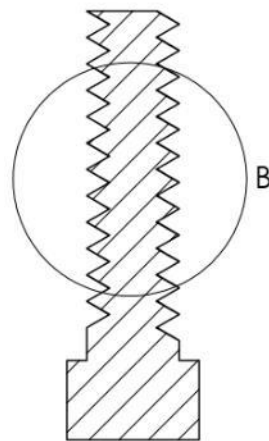
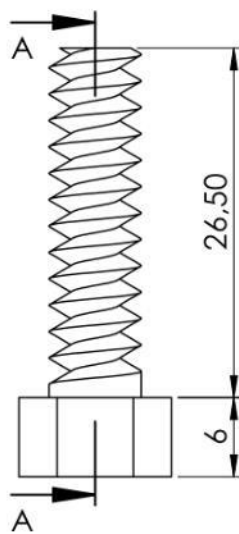
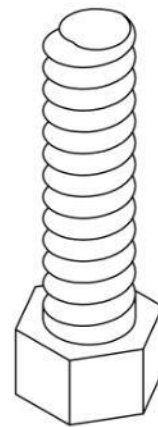


TÍTOL PEÇA: CARGOL COLUMNA LLARG			Pàg. 22
NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	2:1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

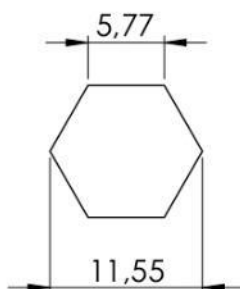


Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

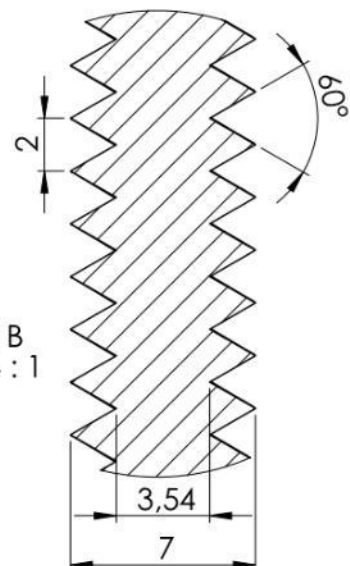
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



SECCIÓN A-A



DETALLE B
ESCALA 4 : 1



TÍTOL PEÇA: CARGOL PERÍMETRE BASE

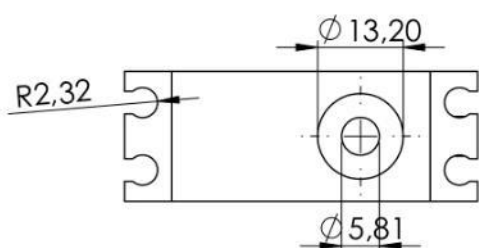
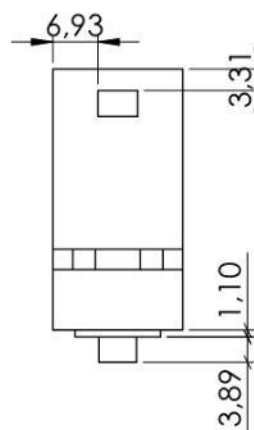
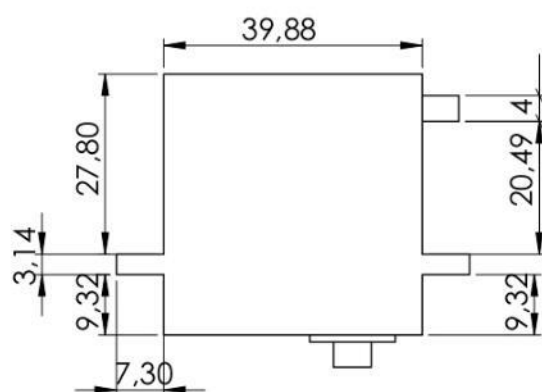
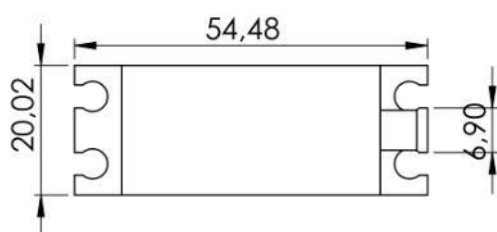
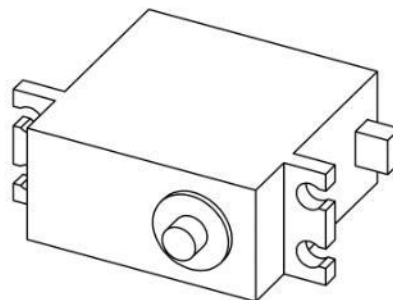
Pàg. 23

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	2:1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

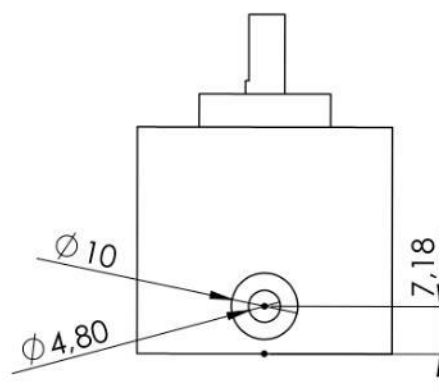
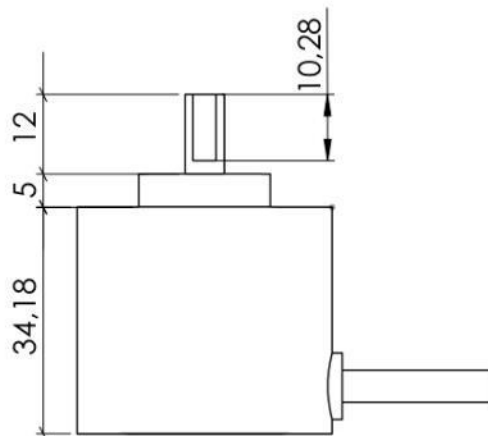
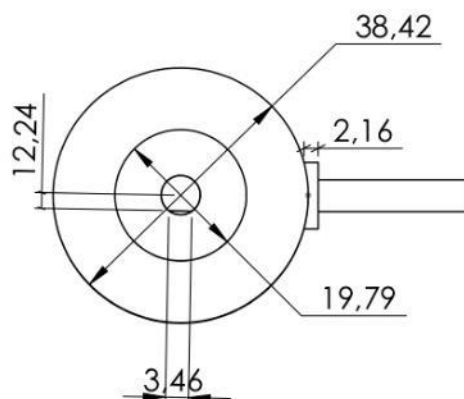
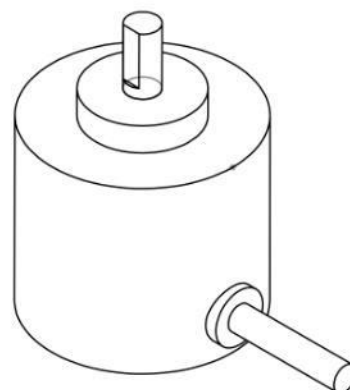


TÍTOL PEÇA: SERVOMOTOR			Pàg. 24
NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA



Escola Politécnica Superior
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



TÍTOL PEÇA: ENCODER

Pàg. 25

NOM	VALENTÍ TUSET LIRIA	UNITATS	mm
UNIVERSITAT	UPC	ESCALA	1 : 1
CENTRE	EPSEM	MATERIAL	PLA

11.2. ANNEX II. PLÀNOLS ELECTRÒNICS

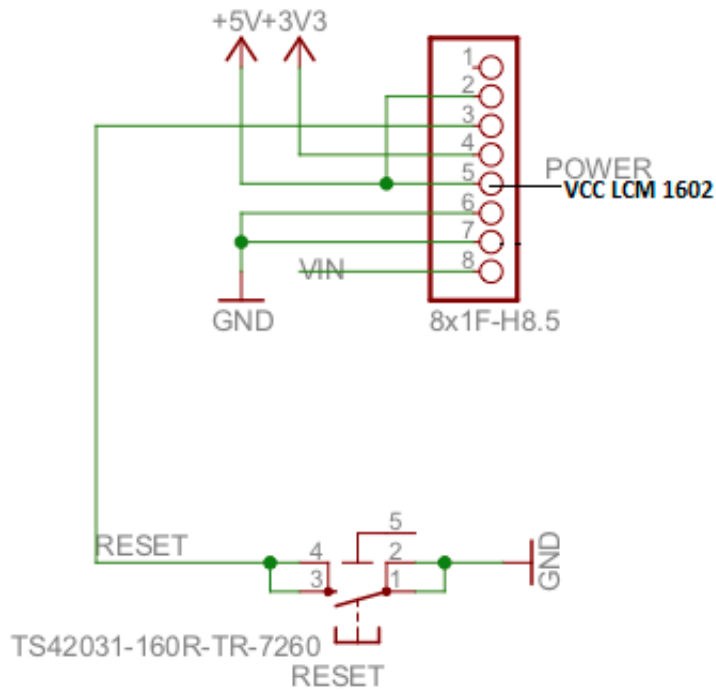


Figura: 11-11 Sortides de potència Arduino MEGA 2560 R3 [27]

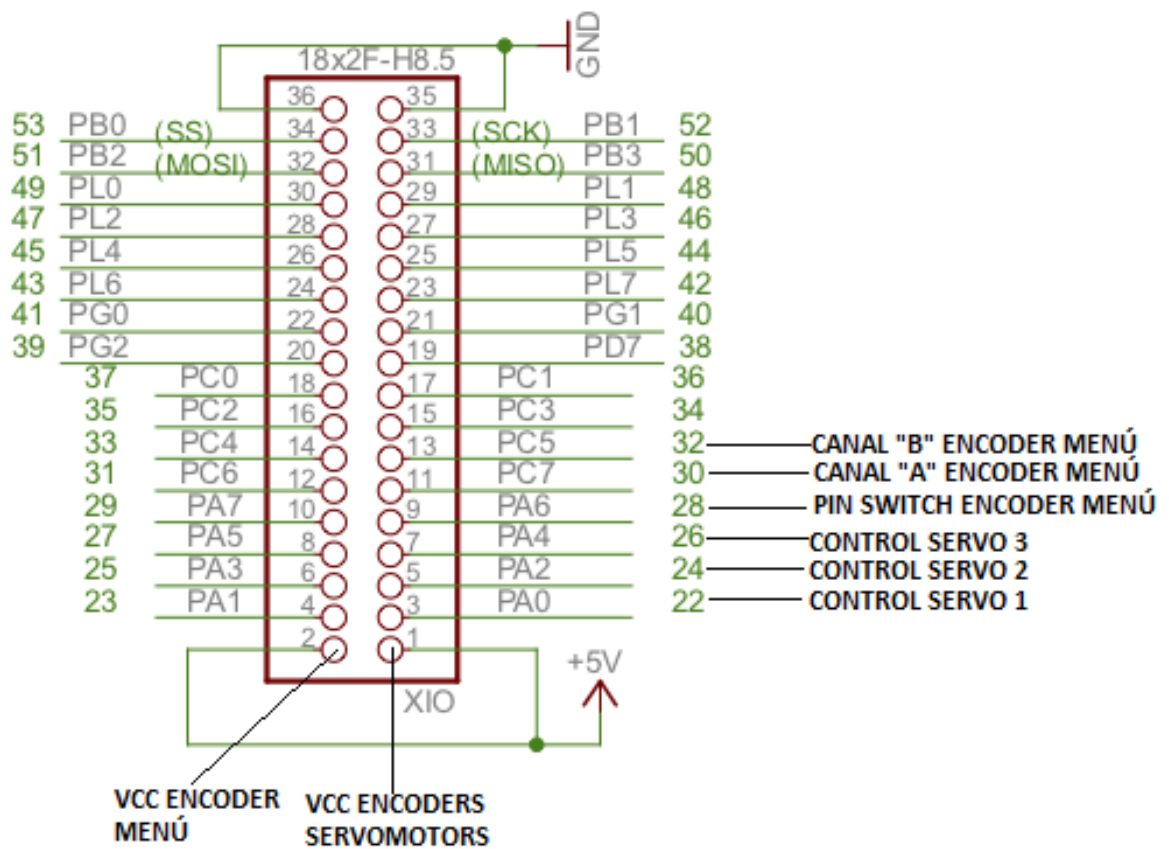


Figura: 11-12 Entrades/Sortides digitals Arduino MEGA 2560 R3 [27]

195

11.3. ANNEX III DESMUNTATGE DEL HEATCORE PER ORDRE

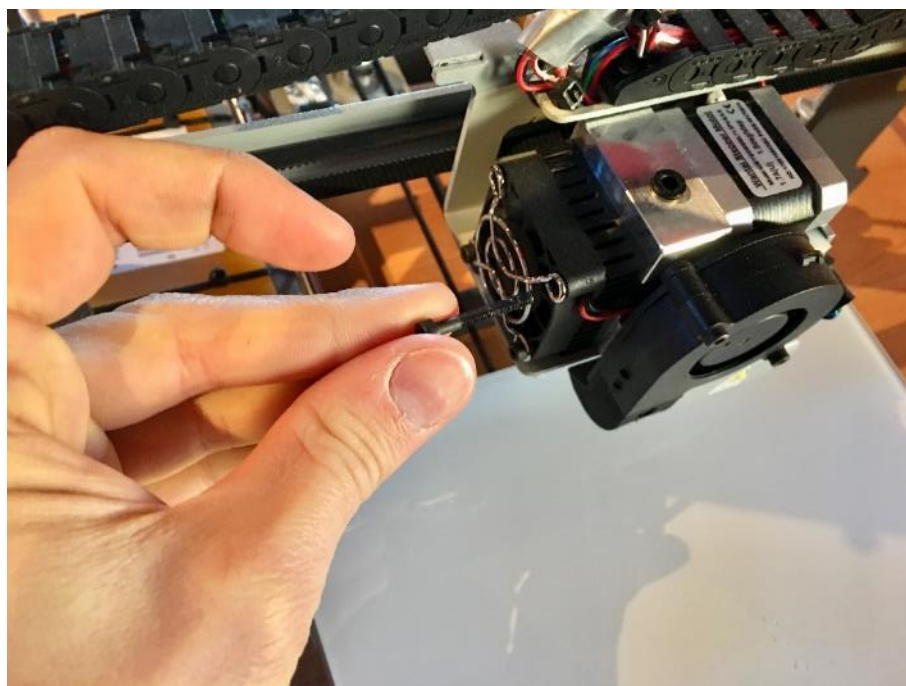


Figura: 11-14 Desmuntatge reixa ventilador extrusor.

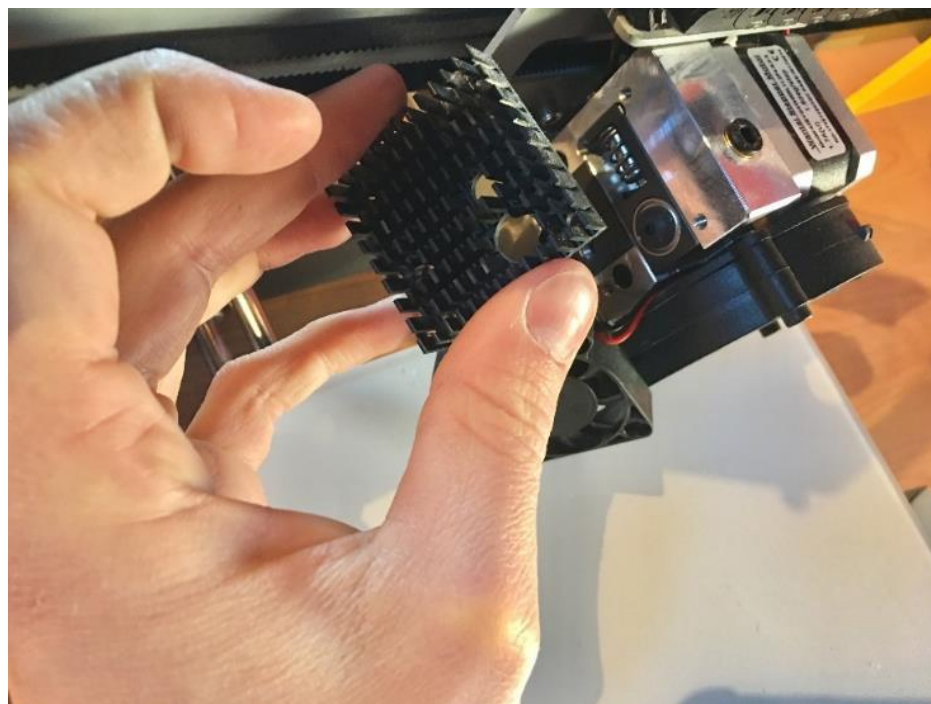


Figura: 11-15 Extracció dissipador extrusor.

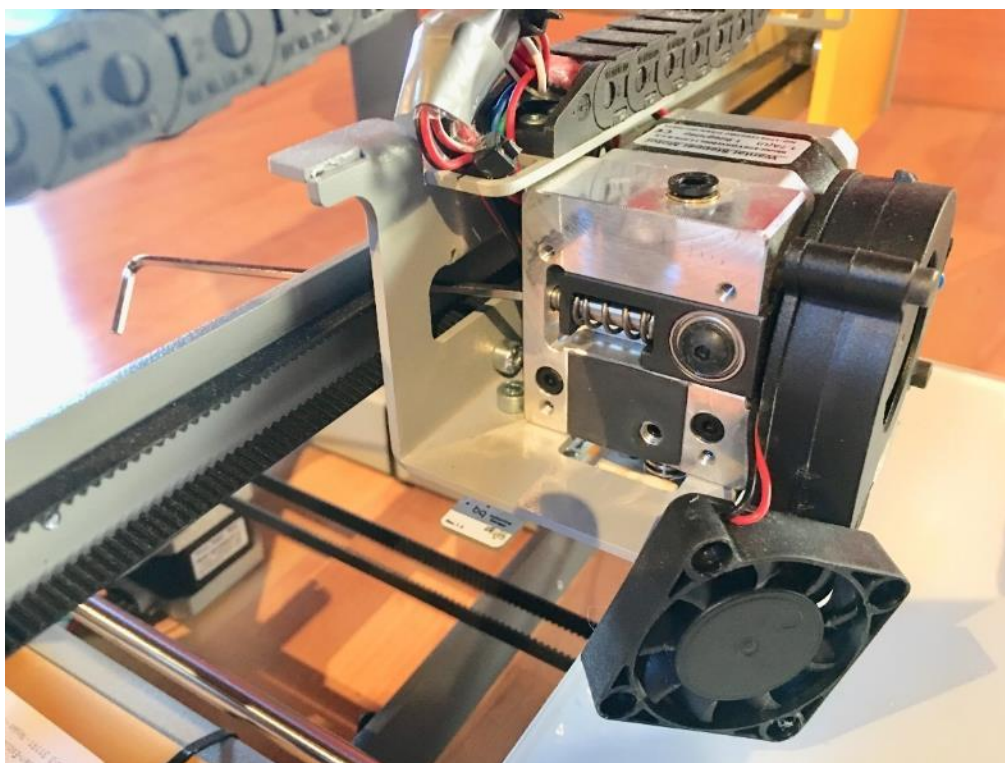


Figura: 11-16 Desmuntatge motlle de retenció.

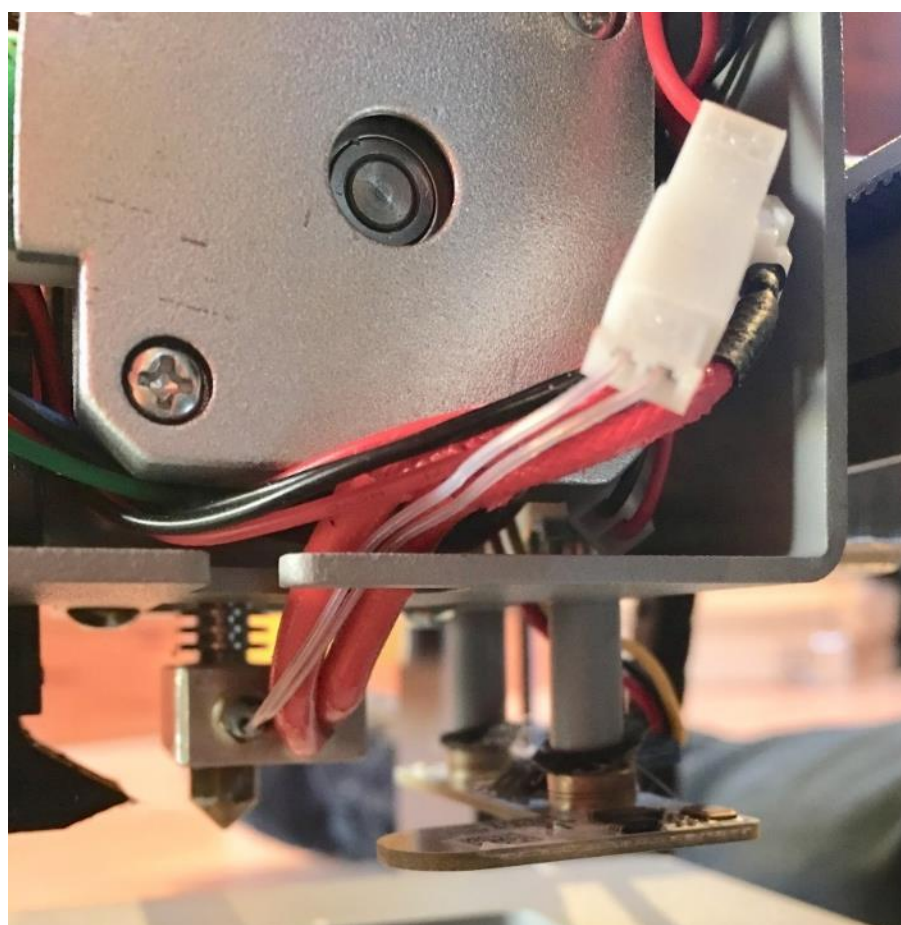


Figura: 11-17 Cables sonda temperatura i del cartutx de fusió.



Figura: 11-18 Desconnexió de sonda de temperatura i del cartutx de fusió.

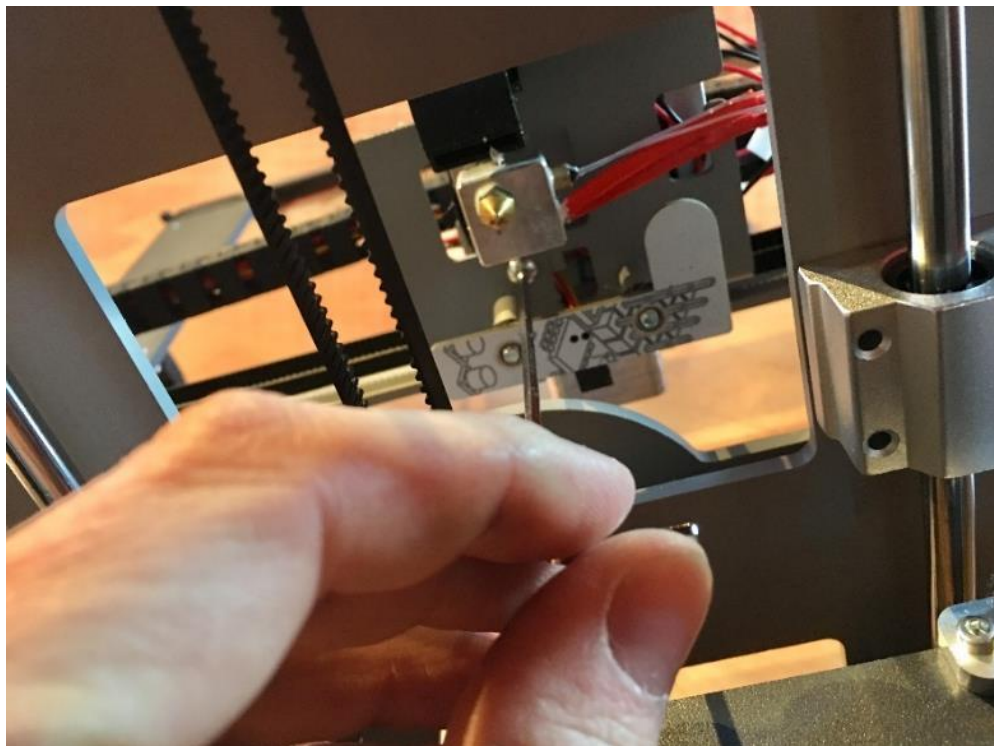


Figura: 11-19 Afluixament cargols del Hotend.

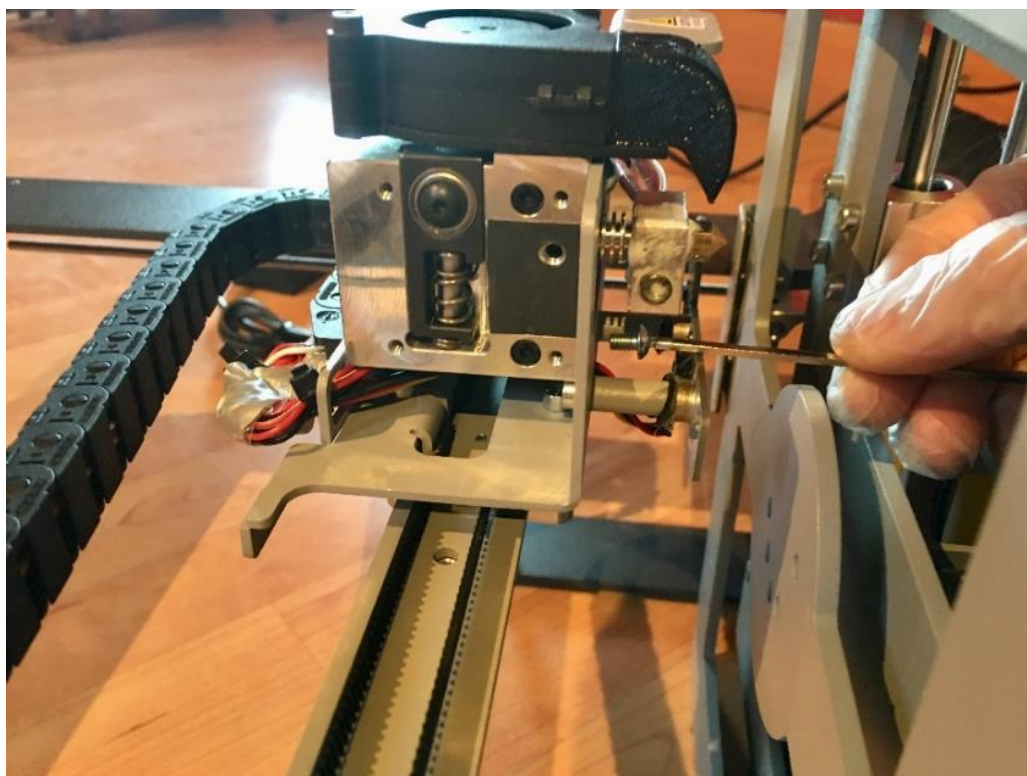


Figura: 11-20 Desmuntatge del Heatcore de l'articulació lineal X.

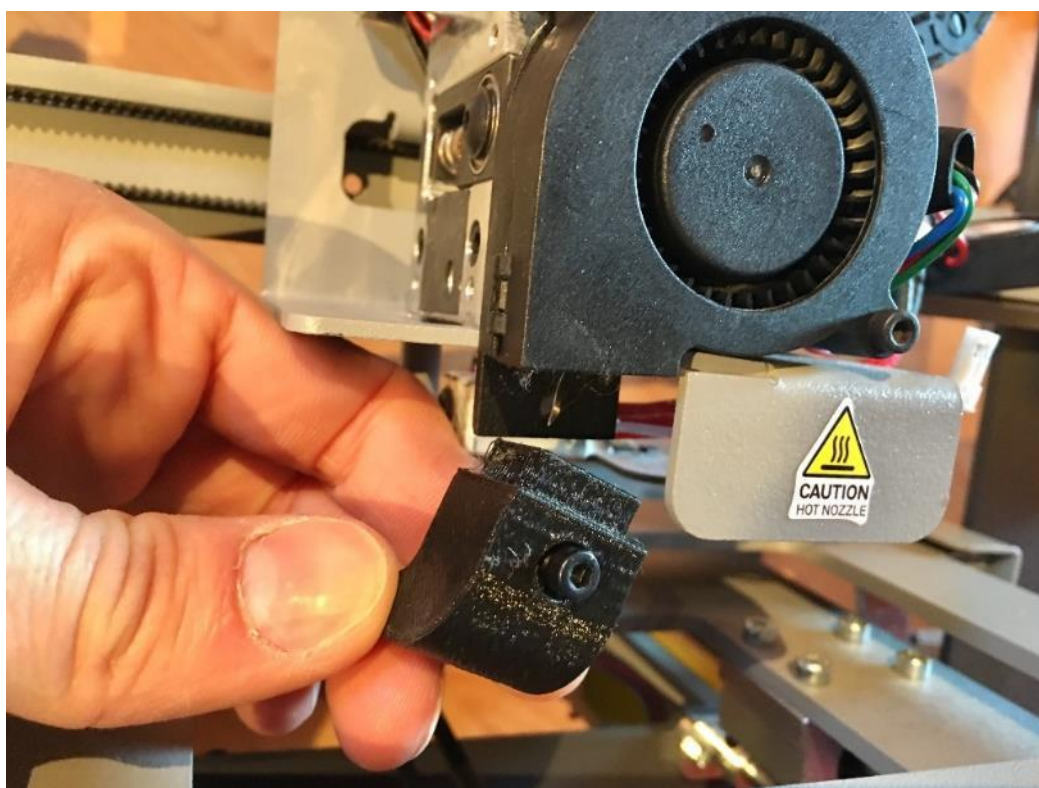


Figura: 11-21 Desmuntatge boquera de ventilació de capa.

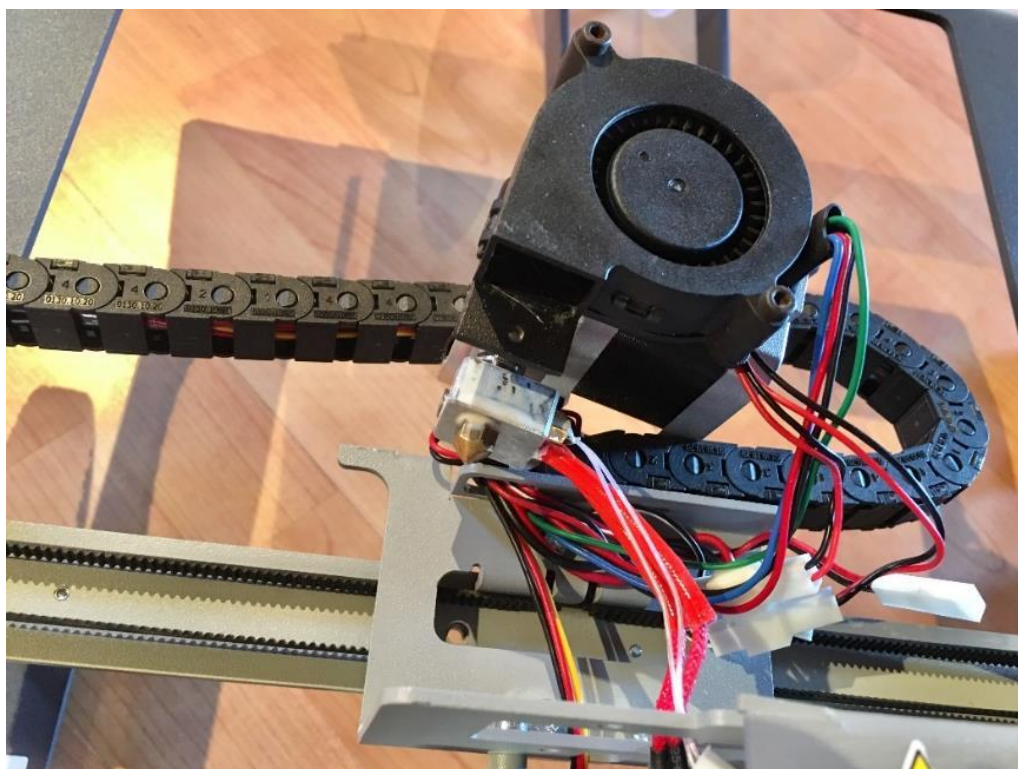


Figura: 11-22 Heatcore extret de l'articulació lineal del eix X.

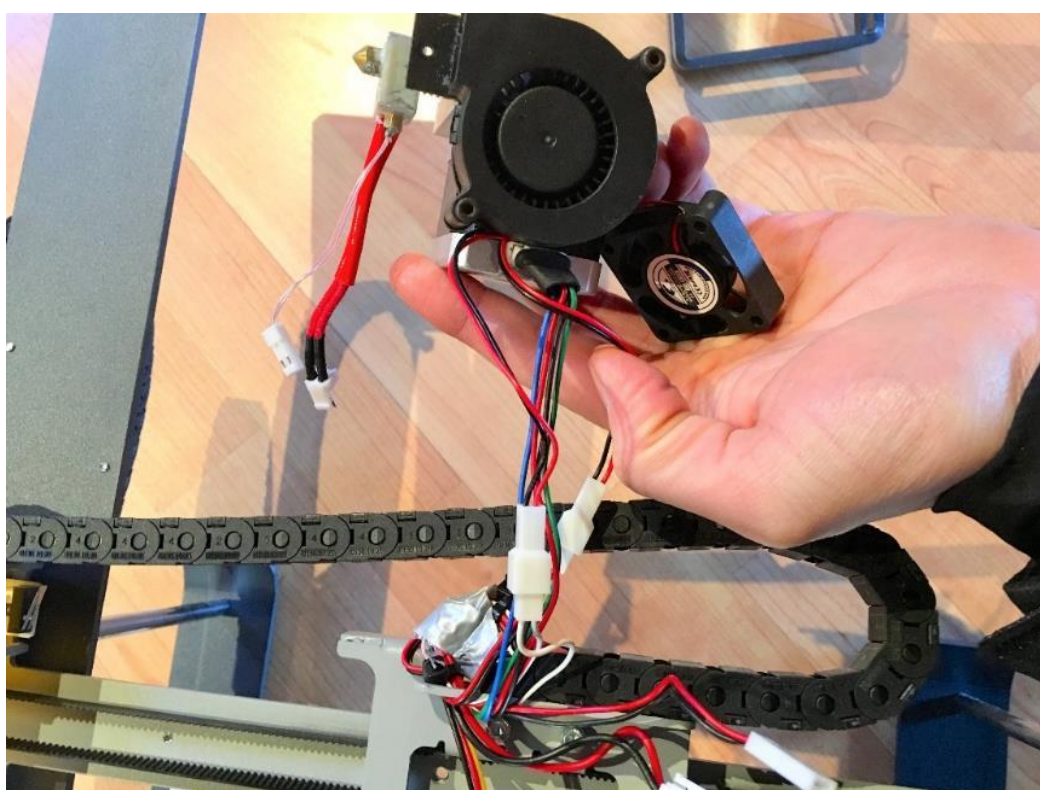


Figura: 11-23 Cables Heatcore

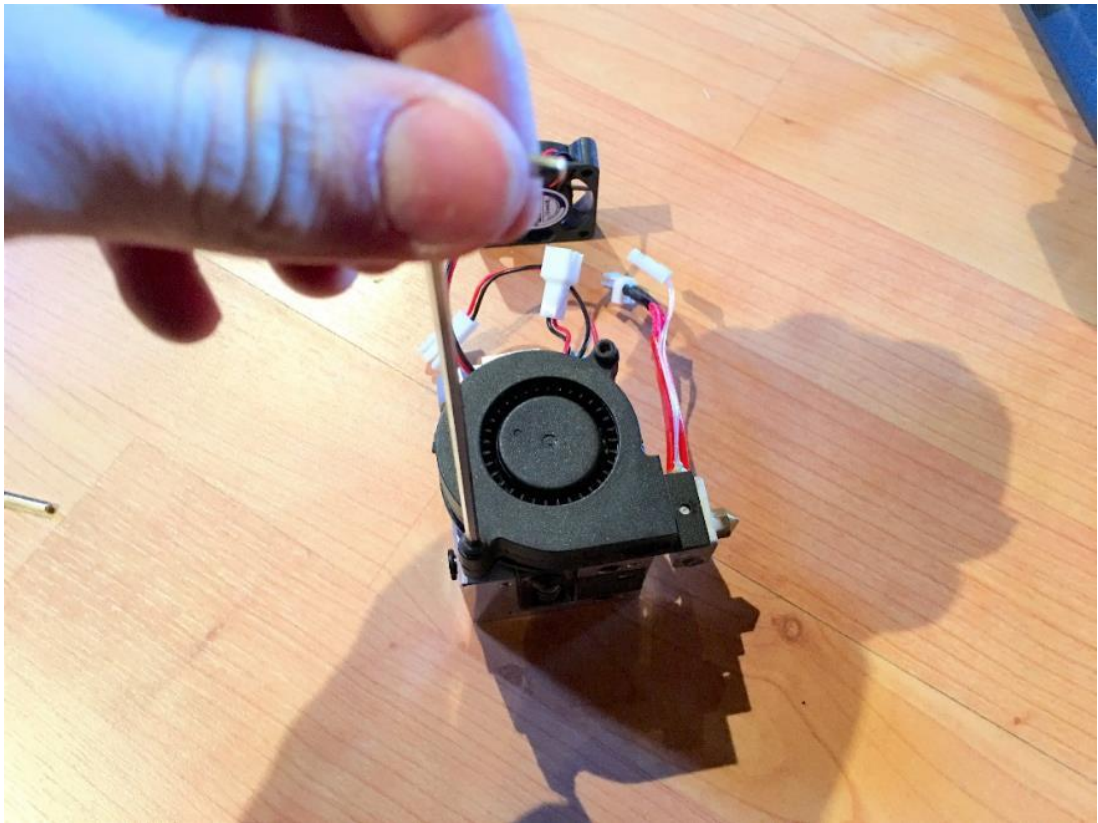


Figura: 11-24 Desmuntatge ventilador de capa

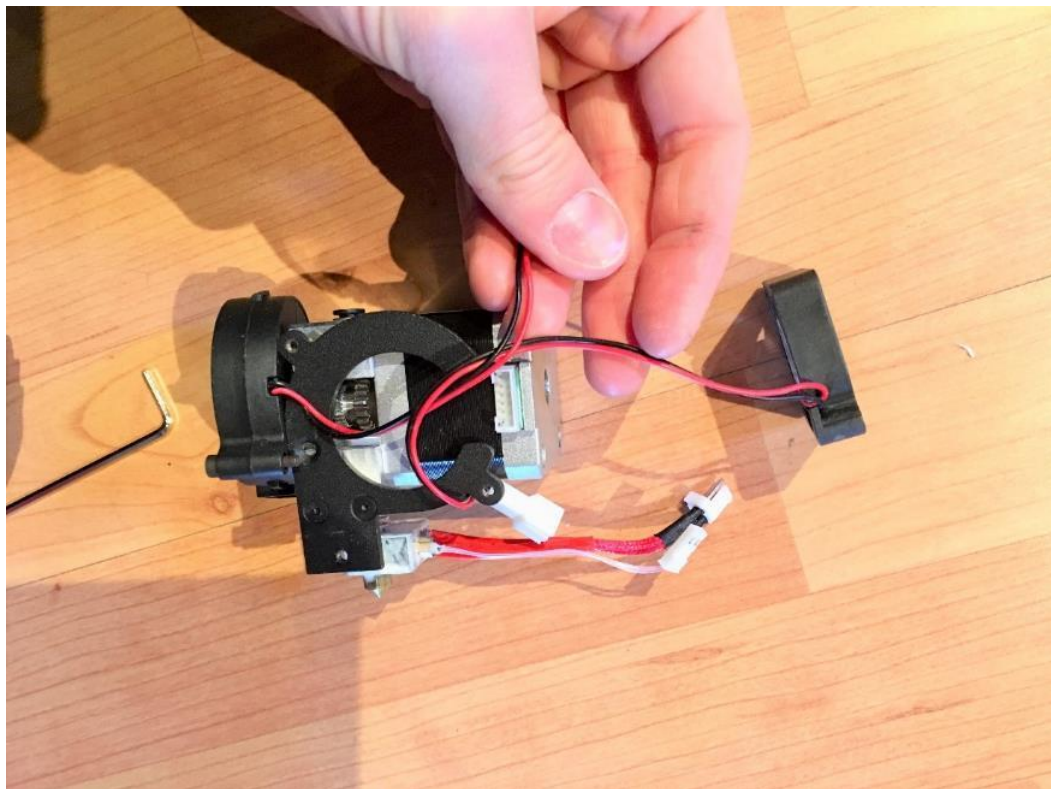


Figura: 11-25 Cables ventilador de capa i ventilador d'extrusor.

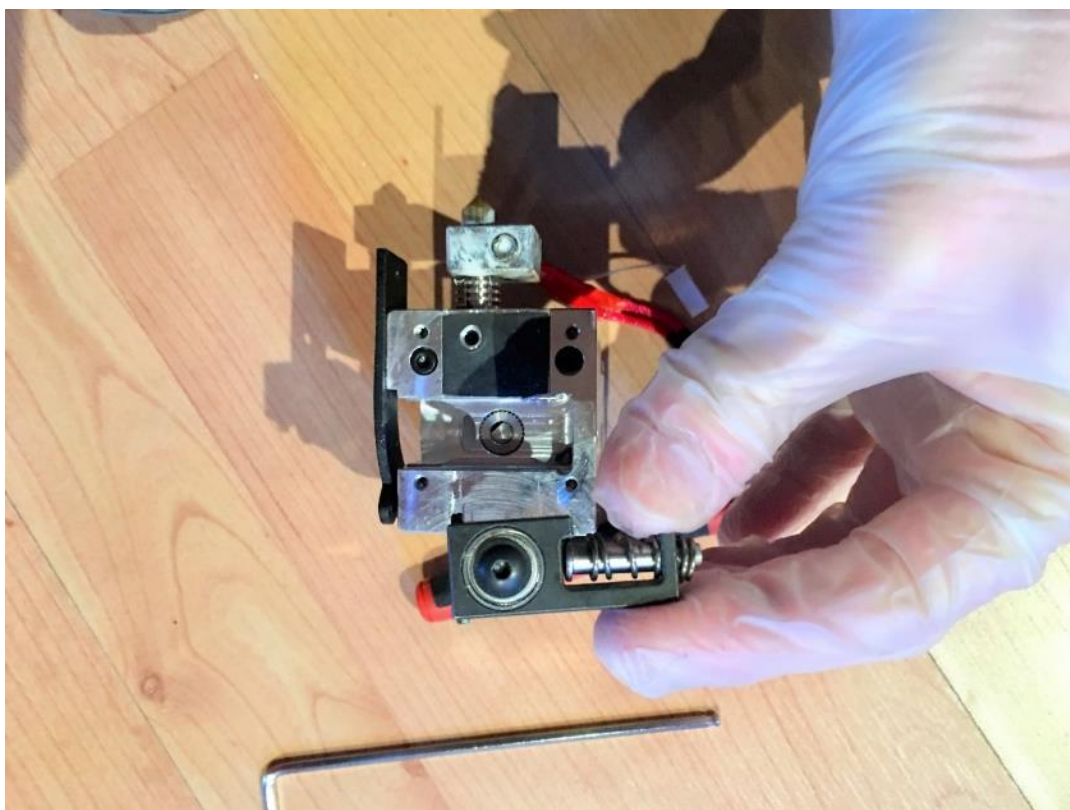


Figura: 11-26 Molla de retenció

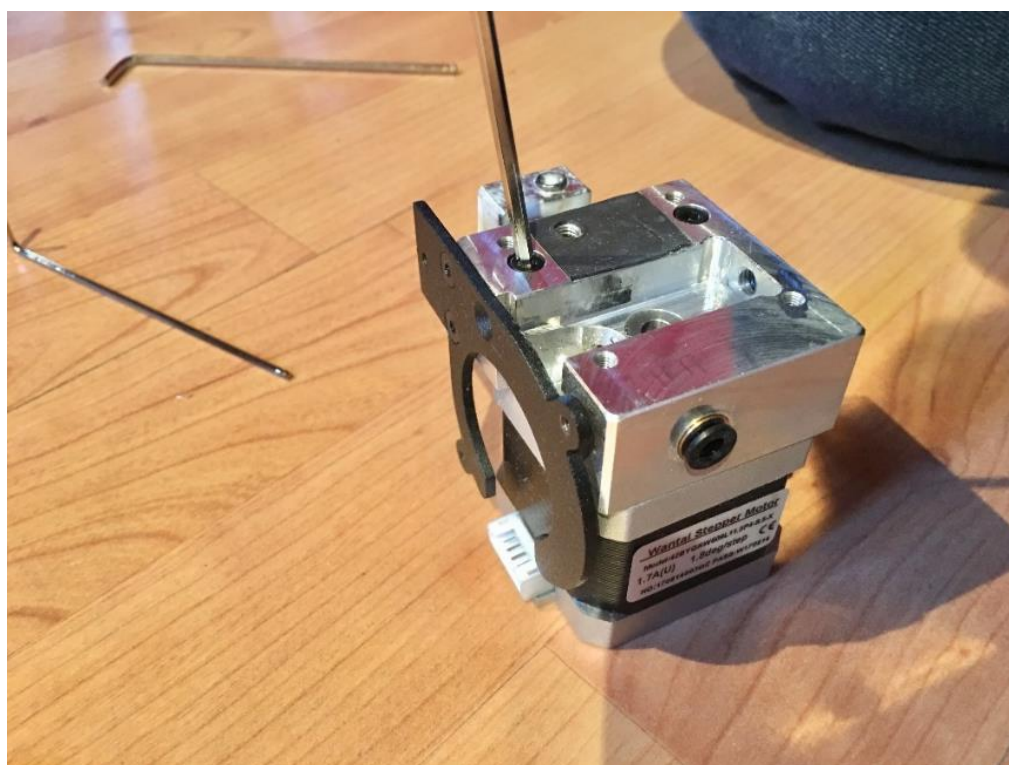


Figura: 11-27 Desmuntatge motor de pas extrusor

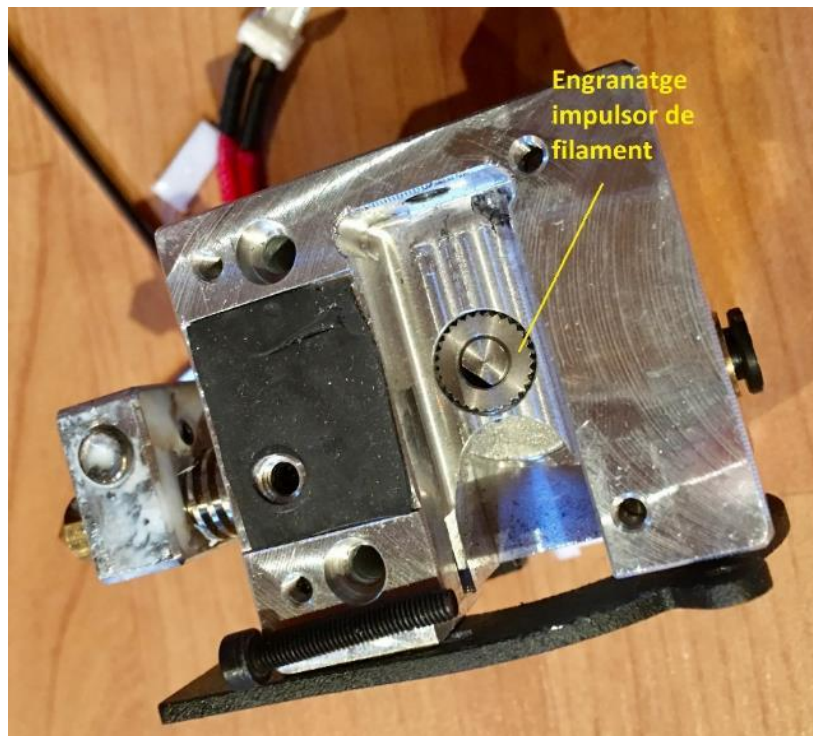


Figura: 11-28 Engranatge impulsor del filament



Figura: 11-29 Engranatge del motor de pas del extrusor.

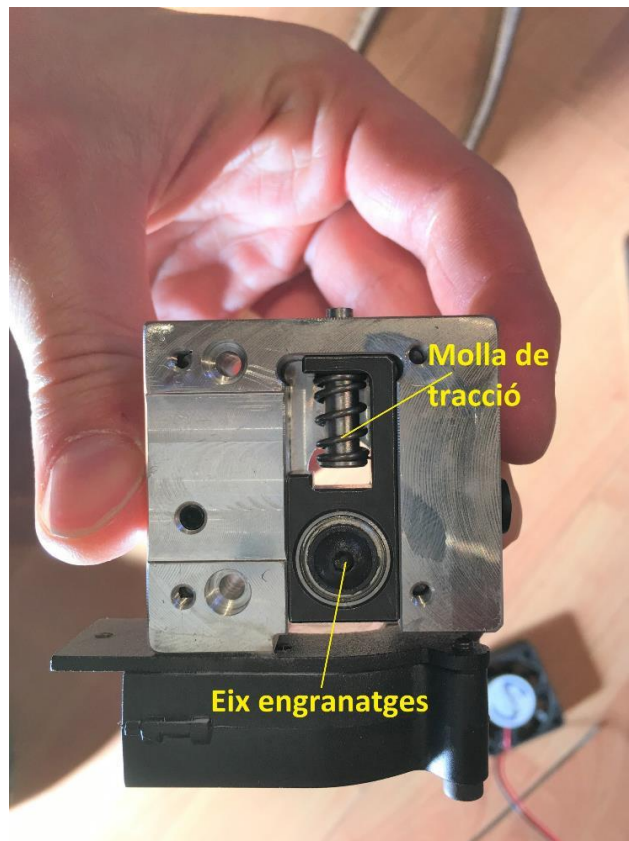


Figura: 11-30 Eix engranatges i molla de tracció

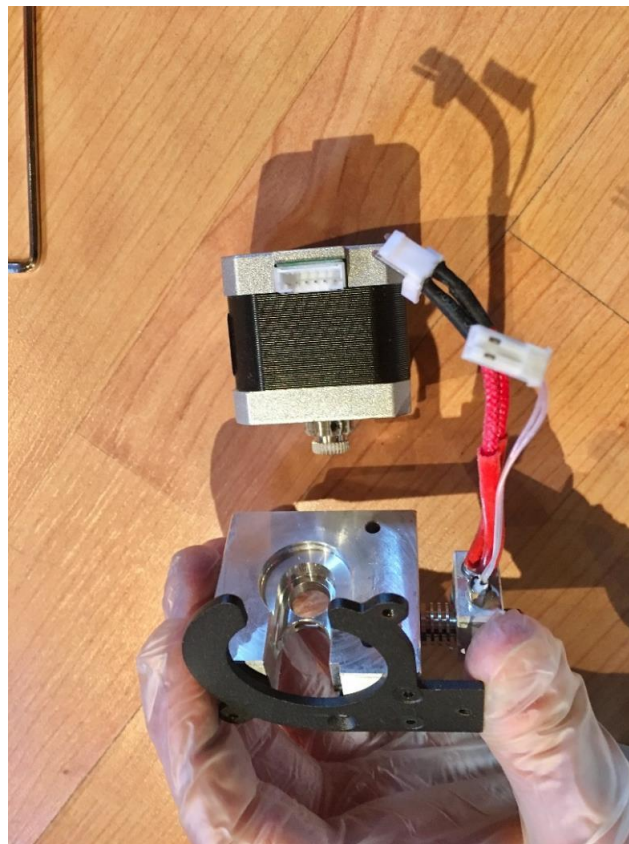


Figura: 11-31 Separació del motor de pas del extrusor.

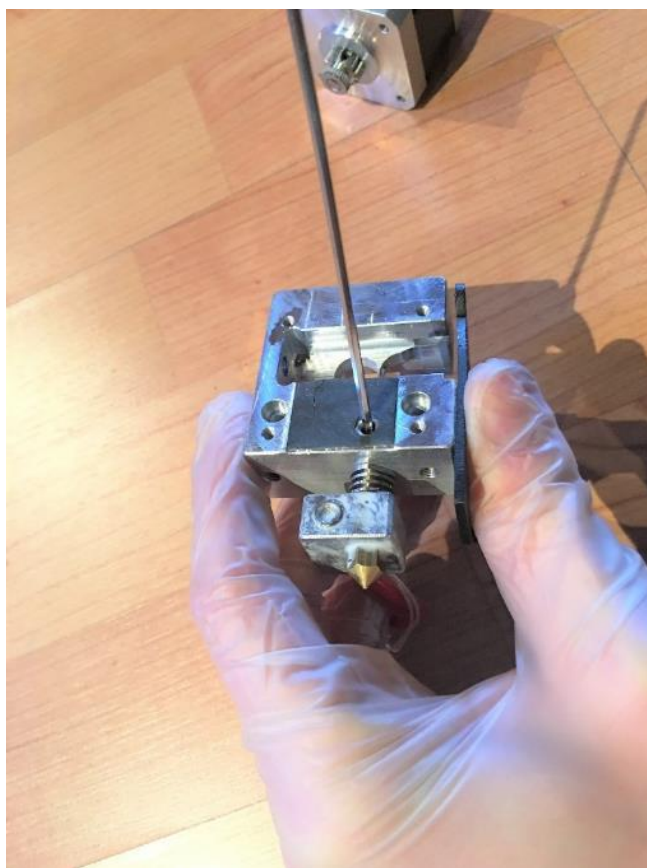


Figura: 11-32 Extracció del Hotend

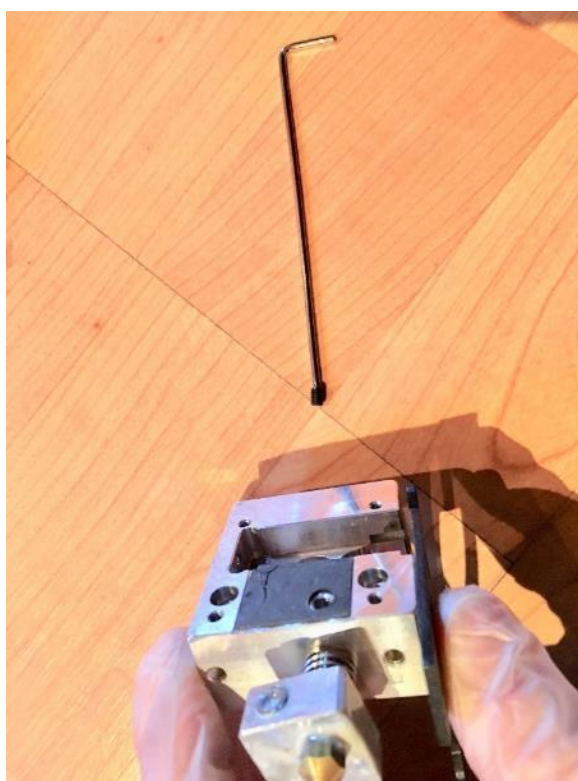


Figura: 11-33 Cargol de subjecció del Hotend.



Figura: 11-34 Peça conductora del filament.

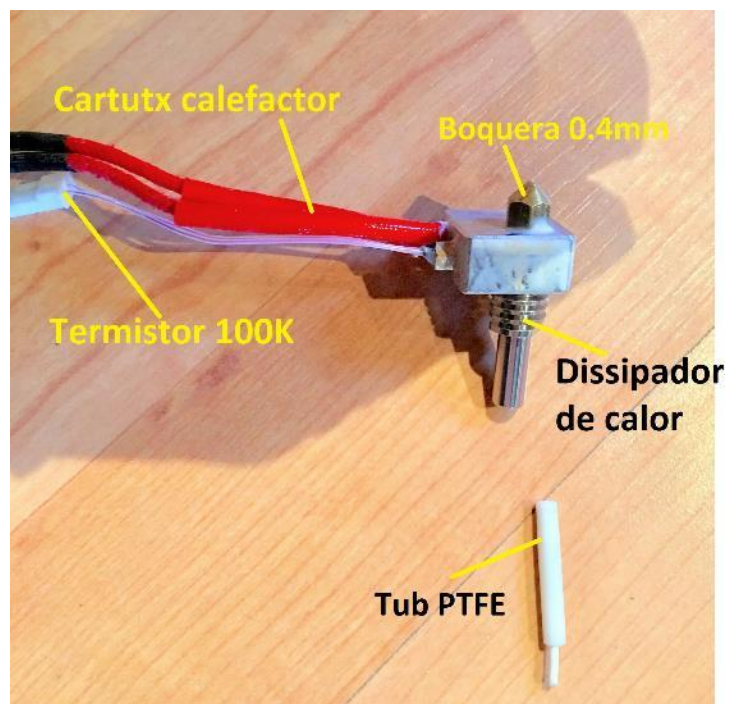


Figura: 11-35 Components del Hotend.

11.4. ANNEX IV. PROCÉS DE MUNTATGE



Figura: 11-36 Separació de peça de la base d'impressió.

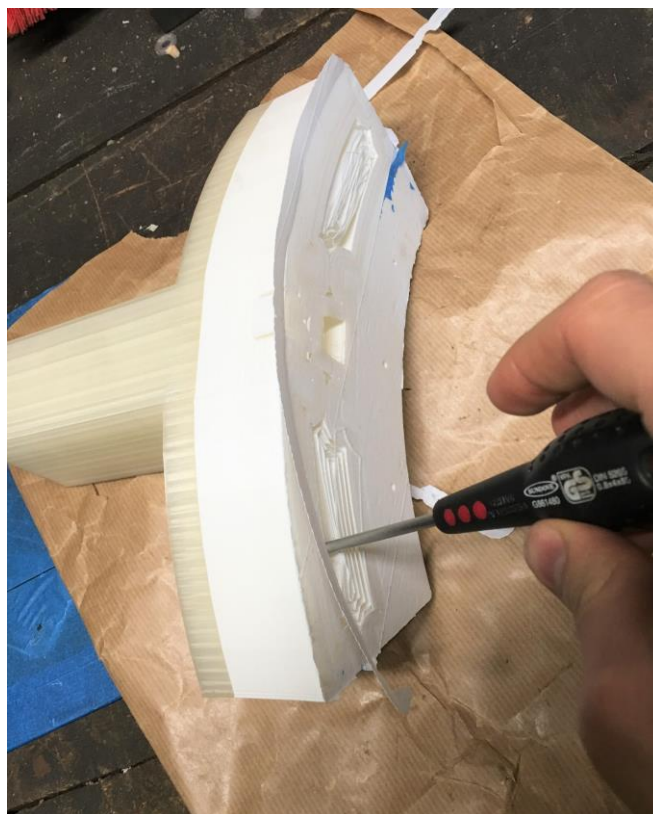


Figura: 11-37 Extracció dels suports d'impressió



Figura: 11-38 Poliment de peces



Figura: 11-39 Columna estructura de sustentació



Figura: 11-40 Estructura de sustentació sense els cargols.

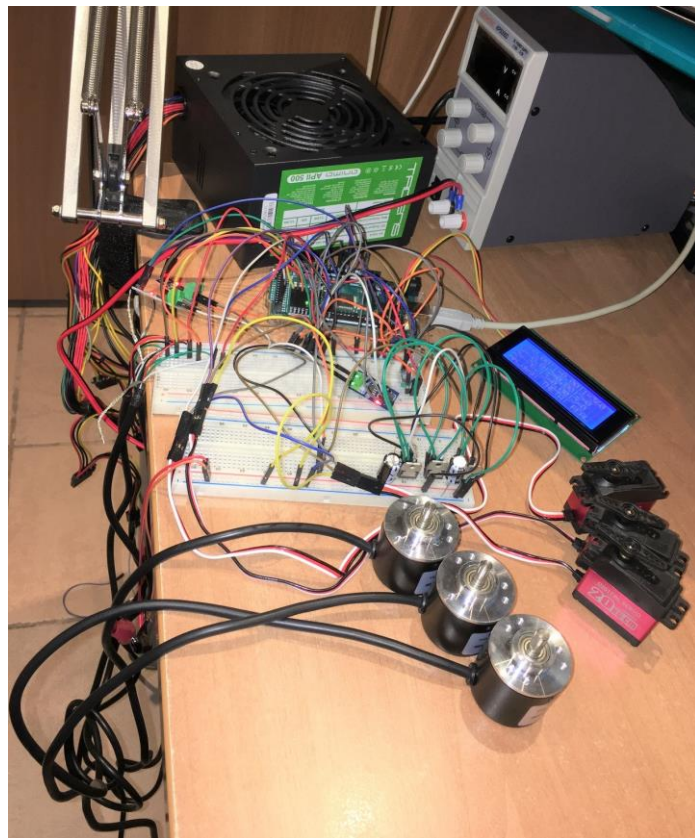


Figura: 11-41 Comprovació dels circuits i components

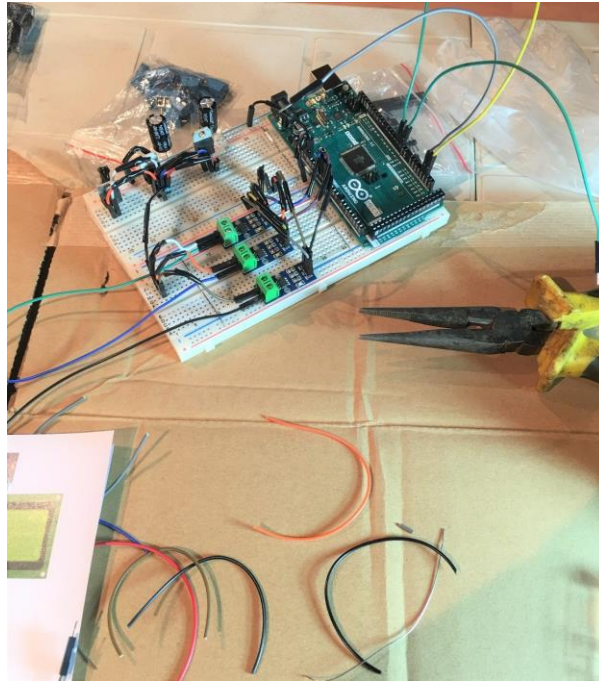


Figura: 11-42 Connexió de cables en placa controladora.



Figura: 11-43 Buits de l'estructura de sustentació per introduir cables



Figura: 11-44 Muntatge dels servomotors i encoders sobre la base superior

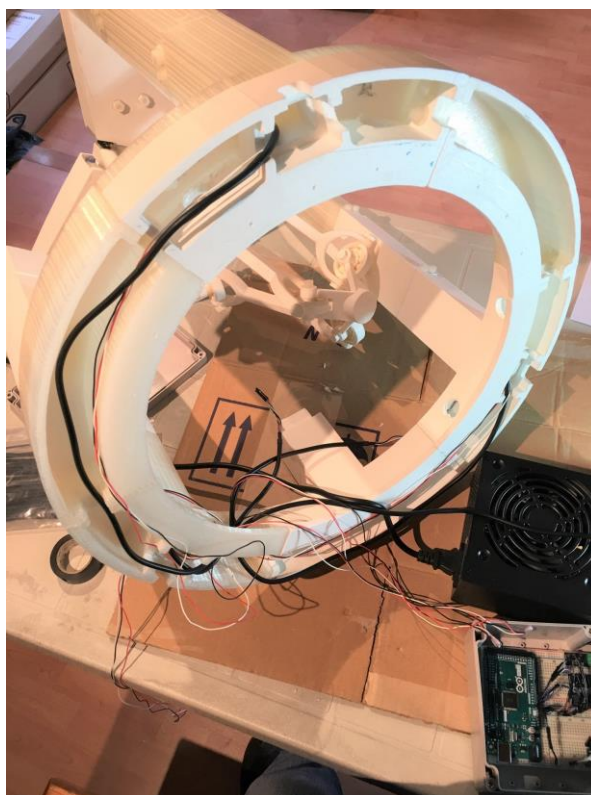


Figura: 11-45 Inserció de cables en l'estructura de sustentació 1

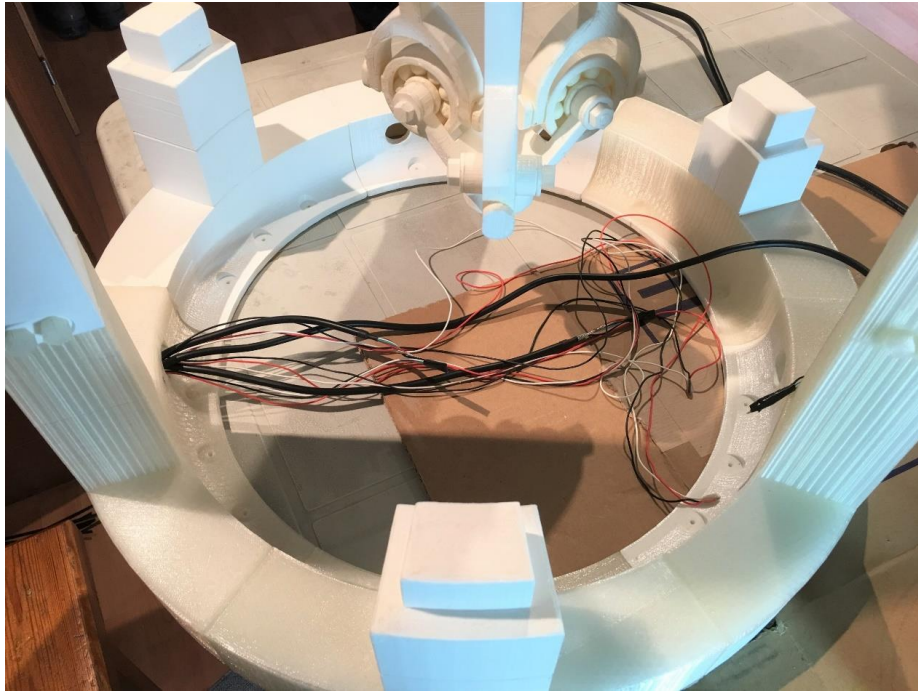


Figura: 11-46 Inserció de cables en l'estructura de sustentació 2

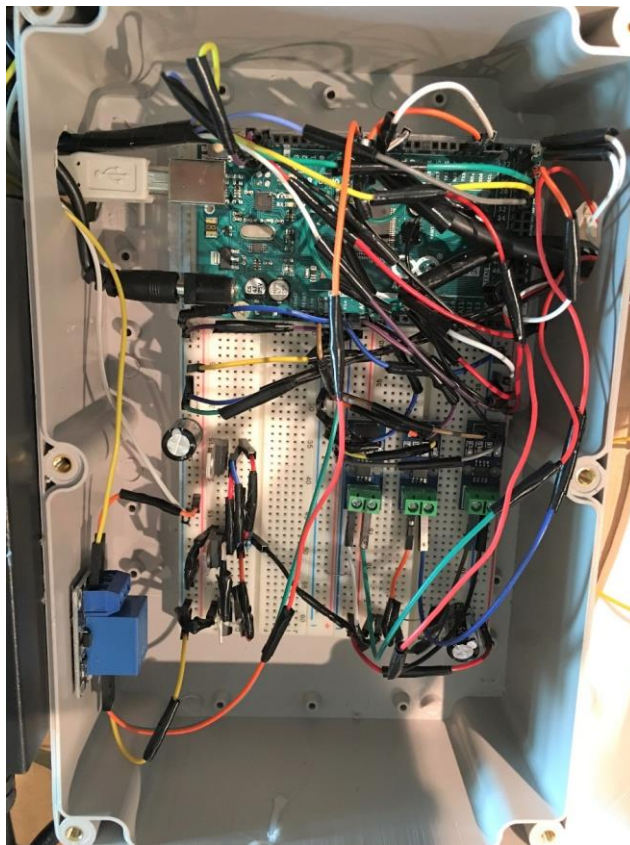


Figura: 11-47 Caixa de connexions



Figura: 11-48 Caixa de connexions i font d'alimentació.



Figura: 11-49 Alçada del Delta muntat



Figura: 11-50 Planta del Delta muntat.



Figura: 11-51 Vista en perspectiva del robot complet

1 **11.5. ANNEX V. PROGRAMA COMPLERT**

```
2
3
4
5
6
7 /**
8
9   Arduino pinout:
10
11       |----- USB -----|
12       |                     | SCL 1| SCL LCD
13       |                     | SDA 1| SDA LCD
14       |                     | AREF|
15       |                     | GND|
16       | PWM    13|
17 | IOREF    PWM    12|
18 | RESET    PWM    11|
19 | 3V3      PWM    10| Canal B Encoder 3
20 | 5V       PWM     9| Canal A Encoder 3
21 | GND      PWM     8|
22 | GND      |
23 | VIN      PWM     7| SENYAL  RELÉ
24 |          PWM     6|
25 S. Corrent 2 | A0      PWM     5| Canal B Encoder 2
26 S. Corrent 3 | A1      PWM     4| Canal A Encoder 2
27 S. Corrent 1 | A2      PWM     3|
28             | A3      PWM     2|
29             | A4      TX0->  1|
30             | A5      RX0<-  0|
31             | A6      |
32             | A7      TX3 14|
33             |          RX3 15|
34             | A8      TX2 16|
35             | A9      RX2 17|
36             | A10     TX1 18| CANAL A ENCODER 2
37             | A11     RX1 19| CANAL B ENCODER 2
38             | A12     SDA 20| CANAL A ENCODER 1
39             | A13     SCL 21| CANAL B ENCODER 1
40             | A14     |
41             | A15     |
42             |          |
43             |          |
44             |          |
45
46
47
48
49
50
```

```
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
```

		I/O DIGITAL	
		5V	5V
	SERVOMOTOR 1	22	23
	SERVOMOTOR 2	24	25
	SERVOMOTOR 3	26	27
	PIN SWITCH ENCODER MENÚ	28	29
(DT)	CANAL "A" ENCODER MENÚ	30	31
(CLK)	CANAL "B" ENCODER MENÚ	32	33
		34	35
		36	37
		38	39
		40	41
		42	43
		44	45
		46	47
		48	49
		50	51
		52	53
		GND	GND

```

*/

/**
 * LLIBRERIES NECESSARIES PEL FUNCIONAMENT DEL CODI
 */
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <EEPROM.h>
//#include <Servo.h> No la utilitzem

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // Assignem l'adreça I2C del LCD

/**
 * MACROS, CONSTANTS, ENUMERATORS, ESTRUCTURES Y VARIABLES GLOBALS
 * byte--> tipus de dada que ocupa 1byte i emagatzema valors de 0 a 255.
 */
#define COUNT(x) sizeof(x)/sizeof(*x); // Macro per contar el nombre d'elements d'un array

const byte pENCO_SW = 28; // Pin encoder SW. Conexio al switch (pulsador)
const byte pENCO_DT = 30; // Pin encoder DT. Senyal de dades Canal A Encoder
const byte pENCO_CLK = 32; // Pin encoder CLK.Senyal de rellotge Canal B Encoder
const byte rowsLCD = 4; // Files del LCD
```

```

106  const byte columnsLCD = 20;           // Columnes del LCD
107  uint8_t    iARROW      = 0;           // Numero identificatiu del icona fletxa
108  uint8_t    bARROW[]    = {           // Matriu 5x8 que representa el dibuix de la fletxa que es veuria en un rectangle petit del display LCD.Si ens fixem els 1's formen una fletxa
109      B00000, B00100, B00110, B11111,
110      B00110, B00100, B00000, B00000
111  };
112
113
114  enum Button {  Unknown, Ok, Left, Right } btnPressed;    // Enumerador amb els diferents botons disponibles
115  enum Screen {  Number, Flag };                          // Enumerador amb els diferents tipus de submenus disponibles. Utilitzarem Flag per seleccionar una altre opcio en el submenu.
116
117  const char *txMENU[] = {
118      "Modificar  X (mm)  ",
119      "Modificar  Y (mm)  ",
120      "Modificar  Z (mm)  ",
121      "Theta 1      (deg) ",
122      "Theta 2      (deg) ",
123      "Theta 3      (deg) ",
124      "Mostra tots valors ",
125      "Posicio inicial  ",
126      "Puja i baixa     ",
127      "Fes cercle       ",
128      "Sortir           "
129  };
130  // Textos del menu principal, la longitud maxima = columnsLCD-1, emplenar els caracters sobrants amb espais. txMENU[] es una matriu de puntadors (pointer array) que ens estalvia memoria i temps d'execucio.
131
132  const byte iMENU = COUNT(txMENU);    // Numero d'items/opcions del menu principal (nombre d'elements matriu)
133
134
135
136  ///ESTRUCTURES CONFIGURACIO
137  struct MYDATA {                       // Estructura STRUCT amb les variables del submenu que editarem amb l'encoder. Les variables es guardaran a la memoria EEPROM
138      int initialized;
139      float X;
140      float Y;
141      float Z;
142      float Th_1;
143      float Th_2;
144      float Th_3;
145
146
147  };
148  union MEMORY {                       // Estructura UNION para facilitar la lectura y escritura en la EEPROM de la estructura STRUCT
149      MYDATA d;
150      byte b[sizeof(MYDATA)];          /*sizeof() calcula el nombre de bytes que ocupa en la memoria l'estructura MYDATA. Cada int ocupa 2 bytes a la memoria. Multipliquem aquesta mida pels 9 membres de l'estructura i
151                                          obtenim 18 bytes. Tenim una unio formada per l'estructura MYDATA que esta desglosada amb una matriu de 18 bytes (tamany corresponent als bytes totals de l'estructura).*/
152  }
153  memory; //creem la unio anomenada memory
154
155  // Geometria del robot
156
157  const float e = 170.0;               // costat triangle base inferior
158  const float f = 207;                 // costat triangle base superior
159

```

```

160 const float re = 200.0;    // brac inferior
161 const float rf = 174.0;    // brac superior
162
163 // Constants trigonometriques
164 const float sqrt3 = sqrt(3.0); //
165 const float pi = 3.141592653;    // PI
166 const float sin120 = sqrt3 / 2.0;
167 const float cos120 = -0.5;
168 const float tan60 = sqrt3;
169 const float sin30 = 0.5;
170 const float tan30 = 1 / sqrt3;
171
172
173 float t1, t2, t3;
174 float theta1, theta2, theta3;
175 float x0, y0, z0;
176 char lletra; //caracter per elegir entre cinematica directa o inversa
177
178
179 int servo1 = 22; // Número de sortida digital del servomotor en la placa Arduino Uno.
180 int servo2 = 24;
181 int servo3 = 26;
182 int angle;
183 int pwm;
184
185
186 int AA1 = 5; // Canal A encoder 1  La linia 20 i 21 d'interruptio no es poden utilitzar ja que també formen part del SDA i SLC del display LCD.
187 int BB1 = 6; // Canal B encoder 1
188 volatile float POSICIO_1 = 0 ; //la variable volatile es com una variable global que s'utilitzara en el loop i també en les rutines del servei d'interruptio.
189 int alfa_1; // Variable on es guarda l'angle amb graus
190
191 int AA2 = 18; // Canal A encoder 2
192 int BB2 = 19; // Canal B encoder 2
193 volatile float POSICIO_2 = 0 ; //la variable volatile es com una variable global que s'utilitzara en el loop i també en les rutines del servei d'interruptio.
194 int alfa_2;
195
196 int AA3 = 3; // Canal A encoder 3
197 int BB3 = 2; // Canal B encoder 3
198 volatile float POSICIO_3 = 0 ; //la variable volatile es com una variable global que s'utilitzara en el loop i també en les rutines del servei d'interruptio.
199 int alfa_3;
200
201
202 float Sensibilitat = 0.066; // 0,066V/A Sensibilitat sensor de corrent
203 int NombreMostres = 500; // Nombre de mostres per fer la mitjana als amperimetres
204 int s_corrent_1 = A2; // Entrades dels sensors de corrent
205 int s_corrent_2 = A0;
206 int s_corrent_3 = A1;
207 float intensitat_1;    //Variable on es guarda la intensitat de cada servomotor.
208 float intensitat_2;
209 float intensitat_3;
210
211
212 float theta1; //valors per fer proves
213

```



```

214 float theta21;
215 float theta31;
216
217 float X; //valors per fer proves
218 float Y;
219 float Z;
220
221 int relay = 7; // Sortida digital per la senyal de relé.
222
223
224
225 //INICI Y CONFIGURACIO DEL PROGRAMA
226
227 void setup()
228 {
229
230
231     pinMode(pENCO_SW, INPUT_PULLUP); //definim entrades encoder. Utilitzem les resistencies de pull-pup de la placa
232     pinMode(pENCO_DT, INPUT_PULLUP);
233     pinMode(pENCO_CLK, INPUT_PULLUP);
234     ///
235     // pinMode(AA1, INPUT_PULLUP); //Entrades encoder servomotor 1
236     // pinMode(BB1, INPUT_PULLUP);
237
238     pinMode(AA2, INPUT_PULLUP); //Entrades encoder servomotor 2
239     pinMode(BB2, INPUT_PULLUP);
240
241     pinMode(AA3, INPUT_PULLUP); //Entrades encoder servomotor 3
242     pinMode(BB3, INPUT_PULLUP);
243
244
245     pinMode (servo1, OUTPUT);
246     pinMode (servo2, OUTPUT);
247     pinMode (servo3, OUTPUT);
248
249     pinMode(relay, OUTPUT); // Configurar relay com sortida o OUTPUT
250
251     Serial.begin(9600); // Obrim el port serie a una velocitat de 9600 bits/s per adquirir dades en el monitor serie.
252
253     //attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(20), encoderA1, RISING); // Programem interrupcio quan al pin digital 20 hi hagi un flanc ascendent.
254     //attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(21), encoderB1, RISING); // Programem interrupcio quan al pin digital 21 hi hagi un flanc ascendent.
255
256     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(18), encoderA2, RISING);
257     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(19), encoderB2, RISING);
258
259     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), encoderA3, RISING);
260     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), encoderB3, RISING);
261
262
263     // Llegeix la configuració de la EEPROM, y la configura per primera vegada:
264     readConfiguration();
265
266     // Inicia el LCD:
267

```



```

268 lcd.begin(columnsLCD, rowsLCD); //Inicialitzem la interfície del LCD. Donem els valors de files i columnes del LCD.
269 lcd.createChar(iARROW, bARROW); // Creem el caracter fletxa. El primer parametre es el numero d'identificacio de la fletxa. El segon parametre es la matriu de 1's que forma la fletxa.
270
271 // Imprime la informacion del proyecto:
272 lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("  ROBOT DELTA 3D  ");
273 lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("    UPC EPSEM    ");
274 lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("  Ver.  2019/05  ");
275 lcd.setCursor(0, 4);
276
277 imprimir_punts();
278 lcd.clear(); //Borra tot el que s'ha escrit al LCD i posiciona el cursor a la posició inicial (cantó superior esquerra)
279 lcd.setCursor(0, 1);
280 lcd.print(" Prem per modificar");
281
282
283
284 servoPulse (servo1, servo2, servo3, 0, 0, 0);
285
286 mostra_intensitat (s_corrent_1, s_corrent_2, s_corrent_3);
287
288
289 delay(1000); // Esperem a que els servos deixin de rebotar
290
291 POSICIO_1=0; // Posem la variable contador dels encoders dels servomotors a 0 graus.
292 POSICIO_2=0;
293 POSICIO_3=0;
294
295
296 delta_calcForward(memory.d.Th_1 = 0, memory.d.Th_2 = 0, memory.d.Th_3 = 0, memory.d.X, memory.d.Y, memory.d.Z); //donem valors inicials
297
298 digitalWrite(relay, LOW); //Tanquem el circuit d'alimentacio dels servos, donem corrent.
299
300
301 }
302
303
304 /**
305  PROGRAMA PRINCIPAL
306 */
307 void loop()
308 {
309   /* Prova cinemàtiques monitor serie
310
311
312   X=75.2;
313   Y=-113;
314   Z=-252;
315
316   theta11 = 25.51;
317   theta21  = 55,81 ;
318   theta31  = 76,85;
319
320   delta_calcInverse(X, Y, Z, theta11, theta21, theta31);
321

```

```

322     Serial.print("Th_1 = ");
323     Serial.println(theta11);
324
325     Serial.print("Th_2 = ");
326     Serial.println(theta21);
327
328     Serial.print("Th_3 = ");
329     Serial.println(theta31);
330
331     Serial.println("  ");
332
333     delta_calcForward(theta11, theta21, theta31, X, Y, Z);
334
335     Serial.print("X = ");
336     Serial.println(X);
337
338     Serial.print("Y = ");
339     Serial.println(Y);
340
341     Serial.print("Z = ");
342     Serial.println(Z);
343
344     Serial.println("  ");
345
346     delay(2000);
347 */
348
349
350     static unsigned long tNow          = 0; /* les variables estatiques s'utilitzen quan la variable només s'utilitza en una funcio concreta. Les variables locals es destrueixen i s'incialitzen cada vegada que la funció
351                                           s'ejecuta. En el cas de la variable estatica només es crea i s'inicialitza en la primera vegada que executem la funcio. Despres si tornem a cridar la funcio el valor
352                                           persisteix conservant els valors assignats a la la execucio de la funcio.*/
353
354     static unsigned long tPrevious = 0;
355
356     alfa_1 = (POSICIO_1 / 1200) * 360; // Conversio pulsos encoder 1 del servomotor 1 a degrees.
357     alfa_1 = min(360, max(-360, alfa_1)); //min(limit_superior, max(limit_inferior,variable_analitzada)). Donem els limits del encoder dels servomotor.
358
359     alfa_2 = (POSICIO_2 / 1200) * 360; // Conversio pulsos encoder 2 del servomotor 2 a degrees.
360     alfa_2 = min(360, max(-360, alfa_2)); //min(limit_superior, max(limit_inferior,variable_analitzada)). Donem els limits del encoder dels servomotor.
361
362     alfa_3 = (POSICIO_3 / 1200) * 360; // Conversio pulsos encoder 3 del servomotor 3 a degrees.
363     alfa_3 = min(360, max(-360, alfa_3)); //min(limit_superior, max(limit_inferior,variable_analitzada)). Donem els limits del encoder dels servomotor.
364
365     Serial.print("Encoder1: ");
366     Serial.println(alfa_1 );
367
368     Serial.print("Encoder2: ");
369     Serial.println(alfa_2 );
370
371     Serial.print("Encoder3: ");
372     Serial.println(alfa_3);
373     Serial.println(" ");
374

```

```

375
376 delay(100);
377
378
379 mostra_intensitat (s_corrent_1, s_corrent_2, s_corrent_3);
380
381 Serial.println(calculCorrent(s_corrent_2));
382 // Si en la posicio inicial els braços toquessin l'estructura i la intensitat pujes. Mesurem les intensitats per més seguretat
383 if (intensitat_1 > 1 || intensitat_2 > 1 || intensitat_3 >1 ) //Si algun servomotor supera 1 A tallem alimentació servomotors
384 {
385     digitalWrite(relay, HIGH); //Envia senyal alta al relé. Obre el circuit perquè els servos no estiguin alimentats.
386
387
388 }
389
390
391 else if (intensitat_1 <1 || intensitat_2 <1 || intensitat_3 <1 )
392 {
393
394     digitalWrite(relay, LOW); // Envia senyal baixa al relé. Tanca el circuit perquè els servos estiguin alimentats.
395
396 }
397
398
399
400 tNow = millis(); // la funcio retorna els milisegons que han transcorregut desde que el programa s'ha executat.
401
402
403
404
405 btnPressed = readButtons();
406
407
408
409 if ( btnPressed == Button::Ok )
410     openMenu();
411
412
413
414 // Pinta la pantalla principal cada 1 segon:
415 if ( tNow - tPrevious >= 1000 )
416 {
417     tPrevious = tNow;
418     lcd.clear();
419
420
421     //1a linia
422
423     lcd.setCursor(0, 0);
424     lcd.print("X=");
425     lcd.print(memory.d.X);
426     lcd.setCursor(6, 0);
427     lcd.print("|1=");
428     lcd.setCursor(9, 0);
429

```

```

430     lcd.print(memory.d.Th_1);
431     lcd.setCursor(13, 0);
432     lcd.print("|1=");
433     lcd.setCursor(16, 0);
434     lcd.print(memory.d.Th_1); // Assignem el mateix valor que el teòric perquè la placa no té més línies d'interrupció disponibles per la mesura del angle 1 amb l'encoder.
435
436     //2a línia
437
438     lcd.setCursor(0, 1);
439     lcd.print("y=");
440     lcd.print(memory.d.Y);
441     lcd.setCursor(6, 1);
442     lcd.print("|2=");
443     lcd.setCursor(9, 1);
444     lcd.print(memory.d.Th_2);
445     lcd.setCursor(13, 1);
446     lcd.print("|2=");
447     lcd.setCursor(16, 1);
448     lcd.print(alfa_2);
449
450     //3a línia
451
452     lcd.setCursor(0, 2);
453     lcd.print("Z=");
454     lcd.print(memory.d.Z);
455     lcd.setCursor(6, 2);
456     lcd.print("|3=");
457     lcd.setCursor(9, 2);
458     lcd.print(memory.d.Th_3);
459     lcd.setCursor(13, 2);
460     lcd.print("|3=");
461     lcd.setCursor(16, 2);
462     lcd.print(alfa_3);
463
464
465     //4a línia
466
467     lcd.setCursor(0, 3);
468     lcd.print("mm_deg| THETA| REAL");
469
470
471 }
472
473 }
474
475
476 /**
477  MOSTRA EL MENU PRINCIPAL AL LCD.
478 */
479 void openMenu()
480 {
481     byte idxMenu      = 0;
482     boolean exitMenu  = false;
483

```

```

484     boolean forcePrint = true;
485
486     lcd.clear();
487
488     while ( !exitMenu ) //mentres exitMenu sigui false
489     {
490         btnPressed = readButtons();
491
492         if ( btnPressed == Button::Left && idxMenu - 1 >= 0 ) //si sentit de gir encoder idxMENantihorari.
493         {
494             idxMenu--; //disminuim variable
495         }
496         else if ( btnPressed == Button::Right && idxMenu + 1 < iMENU ) //si sentit de gir encoder horari i idxMENU menor que la quantitat maxima de items del menu.
497         {
498             idxMenu++; //augmentem variable
499         }
500         else if ( btnPressed == Button::Ok ) // Si el pulsador esta presionat
501         {
502
503
504
505
506             switch ( idxMenu )
507             {
508
509                 case 0: openSubMenu( idxMenu, Screen::Number, &memory.d.X,  -114, 114 );
510                     lcd.setCursor(0, 1);
511                     imprimir_punts(); //Impreimeix punts abans d'executar les funcions
512                     delta_calcInverse(memory.d.X, memory.d.Y, memory.d.Z, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
513                     // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z. Executem funcio quan validem el valor a modifi
514
515                     break;
516
517                 case 1: openSubMenu( idxMenu, Screen::Number, &memory.d.Y,  -114, 114 );
518                     lcd.setCursor(0, 1);
519                     imprimir_punts();
520                     delta_calcInverse(memory.d.X, memory.d.Y, memory.d.Z, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
521
522
523                     break;
524
525                 case 2: openSubMenu( idxMenu, Screen::Number, &memory.d.Z, -360, -59 );
526                     lcd.setCursor(0, 1);
527                     imprimir_punts();
528                     delta_calcInverse(memory.d.X, memory.d.Y, memory.d.Z , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
529
530                     break;
531
532                 case 3: openSubMenu( idxMenu, Screen::Number, &memory.d.Th_1, -40, 99);
533                     lcd.setCursor(0, 1);
534                     imprimir_punts();
535                     delta_calcForward(memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3, memory.d.X, memory.d.Y, memory.d.Z);
536                     break;
537

```

```

538 case 4: openSubMenu( idxMenu, Screen::Number, &memory.d.Th_2, -40, 101);
539     lcd.setCursor(0, 1);
540     imprimir_punts();
541     delta_calcForward(memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3, memory.d.X, memory.d.Y, memory.d.Z);
542     break;
543
544 case 5: openSubMenu( idxMenu, Screen::Number, &memory.d.Th_3, -40, 101);
545     lcd.setCursor(0, 1);
546     imprimir_punts();
547     delta_calcForward(memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3, memory.d.X, memory.d.Y, memory.d.Z);
548     break;
549
550 case 6:  break; // Opcio Mostra tots els valors i sortim de la funcio openMenu().
551
552 case 7: servoPulse (servo1, servo2, servo3, 0, 0, 0); //Tornem a la posicio inicial
553     delta_calcForward(memory.d.Th_1 = 0, memory.d.Th_2 = 0, memory.d.Th_3 = 0, memory.d.X, memory.d.Y, memory.d.Z);  exitMenu = true;
554     // Opcio Mostra tots els valors i sortim de la funcio openMenu(). Guarda els valors a la EEPROM.
555     // Esperem a que els servos deixin de rebotar
556     delay(500);
557     POSICIO_1=0; // Posem la variable contador dels encoders dels servomotors a 0 graus.
558     POSICIO_2=0;
559     POSICIO_3=0;
560
561     break;
562
563
564 case 8:
565     int g;
566     g=0;
567     while (g<5){
568
569         delta_calcInverse(memory.d.X, memory.d.Y, -225 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z  hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
570         servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
571         delay(20);
572         delta_calcInverse(memory.d.X, memory.d.Y, -350 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z  hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
573         servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
574         delay(20);
575         g +=1;
576
577     }
578
579     break;
580
581 case 9:
582
583     int k;
584     k=0;
585     while (k<3){
586
587         delta_calcInverse(-114, 0, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z  hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
588         servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
589         delay(10);
590         delta_calcInverse(-114, -60, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z  hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
591

```

```

592     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
593     delay(10);
594     delta_calcInverse(-76, -60, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
595     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
596     delay(10);
597     delta_calcInverse(-76, -113, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
598     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
599     delay(10);
600     delta_calcInverse(0, -113, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
601     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
602     delay(10);
603     delta_calcInverse(68, -113, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
604     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
605     delay(10);
606     delta_calcInverse(68, -39, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
607     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
608     delay(10);
609     delta_calcInverse(114, -39, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
610     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
611     delay(10);
612     delta_calcInverse(114, 100, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
613     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
614     delay(10);
615     delta_calcInverse(0, 100, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
616     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
617     delay(10);
618     delta_calcInverse(-114, 100, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
619     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
620     delay(10);
621     delta_calcInverse(-114, 0, -215 , memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3); // A la coordenada Z hem de posar signe negatiu, ja que l'efector està a la part negativa del eix Z.
622     servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
623     delay(10);
624
625 }
626 break;
627
628 //readConfiguration(); Carrega la informació de la EEPROM a l'estructura Memory.
629
630 case 10: writeConfiguration();   exitMenu = true;   //Sortir y guardar canvis. Guarda els valors a la EEPROM. Sortim de la funcio openMenu().
631     lcd.clear();
632     break;
633
634
635
636 }
637
638 forcePrint = true;
639
640
641
642
643 servoPulse (servo1, servo2, servo3, memory.d.Th_1, memory.d.Th_2, memory.d.Th_3);
644

```



```

645
646 mostra_intensitat (s_corrent_1, s_corrent_2, s_corrent_3);
647
648
649 if (intensitat_1 > 1 || intensitat_2 > 1 || intensitat_3 >1 ) //Si algun servomotor supera 1 A tallem alimentació servomotors
650 {
651     digitalWrite(relay, HIGH); //Envia senyal alta al relé. Obre el circuit perquè els servos no estiguin alimentats.
652
653
654 }
655
656
657 else if (intensitat_1 <1 || intensitat_2 <1 || intensitat_3 <1 )
658 {
659
660     digitalWrite(relay, LOW); // Envia senyal baixa al relé. Tanca el circuit perquè els servos estiguin alimentats.
661
662 }
663
664
665 exitMenu = true; // Sortim del menu per veure totes les dades
666
667 }
668
669
670 if ( !exitMenu && (forcePrint || btnPressed != Button::Unknown) )
671 {
672     forcePrint = false; // es un flag que permet ejecutar el codi que repinta la pantalla quan es necessari
673
674     static const byte endFor1 = (iMENU + rowsLCD - 1) / rowsLCD; // (6+3)/4= 2 endfor1 i endfor2 calcula quantes files de la pantalla son necesaries repintar
675     int graphMenu = 0;
676
677     for ( int i = 1 ; i <= endFor1 ; i++ ) // i de 1 a 2
678     {
679         if ( idxMenu < i * rowsLCD ) //i*rowsLCD= 2*4=8
680         {
681             graphMenu = (i - 1) * rowsLCD; // graphMenu=4 quan i=2 ____ graphMenu=0 quan i=1
682             break;
683         }
684     }
685
686     byte endFor2 = graphMenu + rowsLCD; //4+4=8
687
688     for ( int i = graphMenu, j = 0; i < endFor2 ; i++, j++ ) // valors de j de 0 a 3
689     {
690         lcd.setCursor(1, j); //columna 1 fila j. j fins a 7
691         lcd.print( (i < iMENU) ? txMENU[i] : " " );
692     }
693
694     for ( int i = 0 ; i < rowsLCD ; i++ ) //Escriu un espai al principi de les 4 files del display
695     {
696         lcd.setCursor(0, i);
697         lcd.print(" ");
698     }
699

```

```

700         lcd.setCursor(0, idxMenu % rowsLCD ); /*Posicionem el cursor de la fletxa a la fila corresponent. En la posicio de la fila s'obte el residu de la diviso de la variable que variem amb l'encoder entre el
701             nombre de files del LCD. En el nostre cas dona un valor de 0 a 5.*/
702
703         lcd.write(iARROW); // Escribim la fletxa, el cursor de seleccio del menu
704     }
705 }
706
707 lcd.clear();
708 }
709
710 /**
711  MUESTRA EL SUBMENU EN EL LCD.
712
713  @param menuID      ID del menu principal para usarlo como titulo del submenu
714  @param screen      Segun el tipo, se representara el submenu de una forma u otra.
715  @param value       Puntero a la variable que almacena el dato, y que se modificara.
716  @param minValue    Valor minimo que puede tener la variable.
717  @param maxValue    Valor maximo que puede tener la variable.
718 */
719 void openSubMenu( byte menuID, Screen screen, float *value, int minValue, int maxValue ) //tipus Screen prove del enumerador Screen
720 {
721     boolean exitSubMenu = false;
722     boolean forcePrint  = true;
723
724     lcd.clear();
725
726     while ( !exitSubMenu ) // mientras exitSubMenu sigui fals
727     {
728         btnPressed = readButtons();
729
730
731         if ( btnPressed == Button::Ok ) // Si presionem pulsador a alguna opcio del submenu.
732         {
733             exitSubMenu = true;      // Sortim del SubMenu
734         }
735
736         else if ( btnPressed == Button::Left && (*value) - 1 >= minValue ) // ::caracter per accedir als enumeradors
737         {
738             (*value)--;
739         }
740
741         else if ( btnPressed == Button::Right && (*value) + 1 <= maxValue )
742         {
743             (*value)++;
744         }
745
746         if ( !exitSubMenu && (forcePrint || btnPressed != Button::Unknown) )
747         {
748             forcePrint = false;
749         }
750     }
751 }
752

```

```

753     lcd.setCursor(0, 0);
754     lcd.print(txMENU[menuID]); //Imprimeix la opcio del menu princial seleccionada.
755
756     lcd.setCursor(0, 1);
757     lcd.print("<");
758     lcd.setCursor(columnsLCD - 1, 1);
759     lcd.print(">");
760
761
762     if ( screen == Screen::Number )
763     {
764         lcd.setCursor(columnsLCD / 2 - 1, 1);
765         lcd.print(*value);      // Imprimeix el valor que hem modificat girant l'encoder.
766         lcd.print(" ");
767     }
768
769 }
770
771 }
772
773
774 lcd.clear();
775 }
776
777
778 /**
779  LLEGEIX (Y CONFIGURA LA PRIMERA VEGADA) LA MEMORIA EEPROM AMB LA CONFIGURACIO D'USUARI
780 */
781 void readConfiguration()
782 {
783     for ( int i = 0 ; i < sizeof(memory.d) ; i++ ) //Llegeix cada byte de la matriu struct MyData que esta dins de la unio memory.
784         memory.b[i] = EEPROM.read(i);
785
786     if ( memory.d.initialized != 'Y' ) // Utilitzem Y per tal que la inicialitzacio de memoria nomes es faci 1 vegada.
787     {
788
789         //son els valors inicials de les nostres dades al iniciar el programa
790
791         memory.d.initialized = 'Y';
792         memory.d.X    = 0;
793         memory.d.Y    = 0;
794         memory.d.Z    = 20;
795         memory.d.Th_1 = 0;
796         memory.d.Th_2 = 0;
797         memory.d.Th_3 = 0;
798
799
800         writeConfiguration(); //Escribim els valors inicials de les variables a la memoria EEPROM. nomes 1 primera vegada. Quan (memory.d.initialized = 'Y') la sentencia if ja no es produeix.
801     }
802 }
803
804
805 /**
806  ESCRIU LA CONFIGURACIO D'USUARI A LA MEMORIA EEPROM
807

```

```

808 */
809 void writeConfiguration()
810 {
811     for ( int i = 0 ; i < sizeof(memory.d) ; i++ )
812         EEPROM.write( i, memory.b[i] ); /* escribim a la memoria EEPROM. El primer parametre correspon a l'adreça de la memoria. El Segon parametre es la dada que escriurem que sera de tipus byte. b es la matriu on
813         s'emagatzemen els valors de la estructura MYDATA d desglosats en bytes.*/
814 }
815
816
817
818 /**
819     LLEGEIX ELS DIFERENTS BOTONS DISPONIBLES Y RETORNA EL QUE HA SIGUT PREMUT
820
821 */
822 Button readButtons() //funcio que retorna tipus de dada Button, que hem creat amb l'enumerador Button.
823 {
824     static boolean oldA = HIGH; // Agafa el valor anterior del Canal A per detectar el flanc descendent.
825
826     static boolean newA = LOW;
827     static boolean newB = LOW;
828
829     btnPressed = Button::Unknown;
830     newA = digitalRead(pENCO_DT); // retorna un valor High o Low del pin d'entrada pENCO_DT (Canal A)
831     newB = digitalRead(pENCO_CLK);
832
833     if ( !oldA && newA ) // Si hi ha un flanc ascendent de A!" fa una negacio del bolea oldA, && --> correspon a una "and" logica
834     {
835         btnPressed = !newB ? Button::Left : Button::Right; // Si senyal canal B es LOW, btnPressed=Left Antihorari. En cas que sigui HIGH btnPressed=Right Horari.
836         delay(50);
837     }
838     else if ( !digitalRead(pENCO_SW) ) //Si l'interruptor esta en nivell BAIX
839     {
840         while (!digitalRead(pENCO_SW)); //Mentres interruptor sigui LOW
841         btnPressed = Button::Ok;
842         delay(50);
843     }
844
845     oldA = newA;
846     return btnPressed;
847 }
848
849
850
851 void imprimir_punts() { //Imprimeix punts per la pantalla quan s'esta carregant alguna cosa
852     for ( int i = 0 ; i < columnsLCD ; i++ ) // fem un bucle porque s'escrigui un punt en cada columna de la fila seleccionada.
853     {
854
855         lcd.print("."); // imprimim punt a la ultima fila del display. El cursor de les files l'hem definit abans del "for" i el cursor de les columnes canvia automaticament a mida que anem escrivint.
856         delay(10); // fem un retard de 150ms.
857     }
858 }
859
860

```

```

861
862 void encoderA1() {    //Rutina d'interrupcio
863
864     //S'activa quan el pin digital 20 (A) passa de LOW a HIGH
865     //Avalua el pin 21 (B) per determinar la direccio
866
867     if (digitalRead(21) == LOW)
868     {
869         POSICIO_1--;
870     }
871     else {
872         POSICIO_1++;
873     }
874
875     POSICIO_1 = min(2000, max(-2000, POSICIO_1)); //min(limit_superior, max(limit_inferior,variable_analitzada))
876
877 }
878
879
880 void encoderB1() {
881     //S'activa quan el pin 21 (B) passa de LOW a HIGH
882     //Avalua el pin 20 (A) per determinar la direccio
883
884     if (digitalRead(20) == LOW)
885     {
886         POSICIO_1--;
887     }
888     else {
889         POSICIO_1++;
890     }
891
892     POSICIO_1 = min(2000, max(-2000, POSICIO_1)); //min(limit_superior, max(limit_inferior,variable_analitzada))
893 }
894
895
896 void encoderA2() {    //Rutina d'interrupcio
897
898     //S'activa quan el pin 18 (A) passa de LOW a HIGH
899     //Avalua el pin 19 (B) per determinar la direccio
900
901     if (digitalRead(19) == LOW)
902     {
903         POSICIO_2--;
904     }
905     else {
906         POSICIO_2++;
907     }
908
909     POSICIO_2 = min(2000, max(-2000, POSICIO_2)); //min(limit_superior, max(limit_inferior,variable_analitzada))
910
911 }
912
913
914 void encoderB2() {
915

```

```

916 //S'activa quan el pin 19 (B) passa de LOW a HIGH
917 //Avalua el pin 18 (A) per determinar la direccio
918
919 if (digitalRead(18) == LOW)
920 {
921     POSICIO_2++;
922 }
923 else {
924     POSICIO_2--;
925 }
926
927 POSICIO_2 = min(2000, max(-2000, POSICIO_2)); //min(limit_superior, max(limit_inferior,variable_analitzada))
928 }
929
930
931 void encoderA3() { //Rutina d'interrupcio
932
933     //S'activa quan el pin 3 (A) passa de LOW a HIGH
934     //Avalua el pin 2 (B) per determinar la direccio
935
936     if (digitalRead(2) == LOW)
937     {
938         POSICIO_3--;
939     }
940     else {
941         POSICIO_3++;
942     }
943
944     POSICIO_3 = min(2000, max(-2000, POSICIO_3)); //min(limit_superior, max(limit_inferior,variable_analitzada))
945
946 }
947
948
949 void encoderB3() {
950     //S'activa quan el pin 2 (B) passa de LOW a HIGH
951     //Avalua el pin 3 (A) per determinar la direccio
952
953     if (digitalRead(3) == LOW)
954     {
955         POSICIO_3++;
956     }
957     else {
958         POSICIO_3--;
959     }
960
961     POSICIO_3 = min(2000, max(-2000, POSICIO_3)); //min(limit_superior, max(limit_inferior,variable_analitzada))
962 }
963
964
965 float calculCorrent(int analog_input) // Transforma la senyal Vout del sensor de corrent a intensitat en A.
966 {
967     float llegirAcs712 = 0;
968     float intensitat = 0;
969

```

```

970     for (int i = 0; i < NombreMostres; i++)
971     {
972         llegirAcs712 = analogRead(analog_input) * (5 / 1023.0); // Lectura del sensor al pin d'entrada analogica d'Arduino corresponent convertida en Volts.
973         intensitat = intensitat + (llegirAcs712 - 2.5) / Sensibilitat; //Convertim el voltatge obtingut en intensitat i anem sumant totes les mostres.
974     }
975     intensitat = intensitat / NombreMostres;
976
977
978     return (intensitat );
979 }
980
981
982
983 void mostra_intensitat (int analog_input_1, int analog_input_2, int analog_input_3)    //Imprimeix les intensitats al monitor serie
984 {
985     intensitat_1 = calculCorrent(analog_input_1) +0.09; //Sumem 0.09 per afinar el 0 del sensor.
986     Serial.print("Intensitat servo 1: ");
987     Serial.println(intensitat_1, 3); //Imprimeix la corrent amb 3 decimals;
988
989     delay(100);
990
991     intensitat_2 = calculCorrent(analog_input_2)+0.06;
992     Serial.print("Intensitat servo 2: ");
993     Serial.println(intensitat_2, 3); //Imprimeix la corrent amb 3 decimals;
994
995     delay(100);
996
997     intensitat_3 = calculCorrent(analog_input_3)+0.46;
998     Serial.print("Intensitat servo 3: ");
999     Serial.println(intensitat_3, 3); //Imprimeix la corrent amb 3 decimals;
1000     Serial.println(" ");
1001     delay(100);
1002
1003 }
1004
1005
1006 // # Cinematica directe: (theta1, theta2, theta3) -> (x0, y0, z0)
1007 // returned status: 0=OK, -1=non-existing position
1008 int delta_calcForward(float theta1, float theta2, float theta3, float &x0, float &y0, float &z0) {
1009
1010     float t = (f - e) * tan30 / 2;
1011     float dtr = pi / (float)180.0; // factor per passar de graus a radians
1012
1013     theta1 *= dtr;          // converteix l'angle en graus a radians
1014     theta2 *= dtr;
1015     theta3 *= dtr;
1016
1017     float y1 = -(t + rf * cos(theta1)); //coordenades del centre esfera que forma brac inferior 1
1018     float z1 = -rf * sin(theta1);
1019
1020     float y2 = (t + rf * cos(theta2)) * sin30; //coordenades del centre esfera que forma brac inferior 2
1021     float x2 = y2 * tan60;                      //tan60 equival a sin30*tan60 = cos30
1022     float z2 = -rf * sin(theta2);
1023

```



```

1024 float y3 = (t + rf * cos(theta3)) * sin30; // coordenades del centre esfera que forma brac inferior 3
1025 float x3 = -y3 * tan60;
1026 float z3 = -rf * sin(theta3);
1027
1028 float dnm = (y2 - y1) * x3 - (y3 - y1) * x2; // variable d
1029
1030 float w1 = y1 * y1 + z1 * z1;
1031 float w2 = x2 * x2 + y2 * y2 + z2 * z2;
1032 float w3 = x3 * x3 + y3 * y3 + z3 * z3;
1033
1034 // x = (a1*z + b1)/dnm
1035 float a1 = (z2 - z1) * (y3 - y1) - (z3 - z1) * (y2 - y1);
1036 float b1 = -((w2 - w1) * (y3 - y1) - (w3 - w1) * (y2 - y1)) / 2.0;
1037
1038 // y = (a2*z + b2)/dnm;
1039 float a2 = -(z2 - z1) * x3 + (z3 - z1) * x2;
1040 float b2 = ((w2 - w1) * x3 - (w3 - w1) * x2) / 2.0;
1041
1042 // a*z^2 + b*z + c = 0 // obtenim z despres de substituir eq. (7) i (8) en (1)
1043 float a = a1 * a1 + a2 * a2 + dnm * dnm;
1044 float b = 2 * (a1 * b1 + a2 * (b2 - y1 * dnm) - z1 * dnm * dnm);
1045 float c = (b2 - y1 * dnm) * (b2 - y1 * dnm) + b1 * b1 + dnm * dnm * (z1 * z1 - re * re);
1046
1047 // discriminant
1048 float d = b * b - (float)4.0 * a * c;
1049 if (d < 0) return -1; // non-existing point
1050
1051 z0 = -(float)0.5 * (b + sqrt(d)) / a -139 ;
1052 x0 = (a1 * z0 + b1) / dnm;
1053 y0 = (a2 * z0 + b2) / dnm;
1054
1055 if (x0<0){
1056     x0+=20;
1057 }
1058 if (x0>0){
1059     x0-=20;
1060 }
1061
1062 if (y0<0){
1063     y0+=20;
1064 }
1065 if (y0>0){
1066     y0-=20;
1067 }
1068 return 0;
1069
1070 }
1071
1072 // inverse kinematics
1073 // helper functions, calculates angle thetal (for YZ-pane)
1074 int delta_calcAngleYZ(float x0, float y0, float z0, float &theta) {
1075     float y1 = -0.5 * 0.57735 * f; // f/2 * tg 30 Distancia entre centre triangle gran i el costat mes proxim
1076     y0 -= 0.5 * 0.57735 * e; // mou el punt del centre de la base inferior a sobre el costat del triangle de la base inferior. El seu valor es la meitat de l'altura del triangle de la base inferior
1077

```

```

1078 // z = a + b*y Equacio de la recta que talla les 2 circumferencies
1079
1080 float a = (x0 * x0 + y0 * y0 + z0 * z0 + rf * rf - re * re - y1 * y1) / (2 * z0); // Ordenada al origen de la recta
1081 float b = (y1 - y0) / z0; //Pendent de la recta
1082
1083 // discriminant de l'equacio de 2n grau de l'equacio 1 per obtenir yj
1084 float d = -(a + b * y1) * (a + b * y1) + rf * (b * b * rf + rf);
1085 if (d < 0) return -1; // punt no existent, no hi ha solucio.
1086
1087
1088 float yj = (y1 - a * b - sqrt(d)) / (b * b + 1); // obtencio de yj a traves d'eq 2n grau
1089 float zj = a + b * yj; // obtencio de zj a traves d'equacio de la recta.
1090 theta = 180.0 * atan(-zj / (y1 - yj)) / pi + ((yj > y1) ? 180.0 : 0.0); //Obtencio de l'angle theta. Si yj1>y1 sumem 180 en cas contrari sumem 0. "?" es un ternary operator
1091 return 0;
1092 }
1093
1094
1095
1096 // cinematica inversa: (x0, y0, z0) -> (theta1, theta2, theta3)
1097 //la funcio aplica una matriu de rotacio respecte l'eix Z.
1098 // estat retornat: 0=OK, -1=posicio no existent
1099 int delta_calcInverse(float x0, float y0, float z0, float &theta1, float &theta2, float &theta3) {
1100     theta1 = theta2 = theta3 = 0;
1101     if (x0<0){
1102         x0+=20;
1103     }
1104     if (x0>0){
1105         x0-=20;
1106     }
1107
1108     if (y0<0){
1109         y0+=20;
1110     }
1111     if (y0>0){
1112         y0-=20;
1113     }
1114     int status = delta_calcAngleYZ(x0, y0, z0+139, theta1);
1115     if (status == 0) status = delta_calcAngleYZ(x0 * cos120 + y0 * sin120, y0 * cos120 - x0 * sin120, z0+139, theta2); //Calculem theta_2 amb els eixos del sistema de referencia de theta 1 rotats 120 en sentit
1116 antihorari respecte z
1117     if (status == 0) status = delta_calcAngleYZ(x0 * cos120 - y0 * sin120, y0 * cos120 + x0 * sin120, z0+139, theta3); //Calculem theta_3 amb els eixos del sistema de referencia de theta 1 rotats 120 en sentit
1118 horari respecte z
1119     return status;
1120 }
1121
1122 void servoPulse (int servo_1, int servo_2, int servo_3, int angle_1, int angle_2, int angle_3)
1123 {
1124     int Hz = 0; // Numero de vegades que s'envia la senyal PWM.
1125     int beta_1=50 + angle_1; // sumem 50 porque ens interessa agafar el rang negatiu -50 quan angle sigui negatiu. El 0 del servomotor comença a -50deg respecte l'eix de referencia Y.
1126     int beta_2=50 + angle_2;
1127     int beta_3=50 + angle_3;
1128
1129     int pwm_1 = 390 + ((2422 - 390) / 180) * (180 - (beta_1)); // Converteix angle a microsegons fem (180-angle) porque la referencia de l'angle sigui entre l'eix Y i el 3r i 4t quadrant.
1130     int pwm_2 = 390 + ((2422 - 390) / 180) * (180 - (beta_2)); // Converteix angle a microsegons fem (180-angle) porque la referencia de l'angle sigui entre l'eix Y i el 3r i 4t quadrant.
1131

```

```

1132     int pwm_3 = 390 + ((2422 - 390) / 180) * (180 - (beta_3)); // Converteix angle a microsegons fem (180-angle) perquè la referencia de l'angle sigui entre l'eix Y i el 3r i 4t quadrant.
1133
1134
1135
1136     for (Hz = 0; Hz < 20 ; Hz++) {
1137         digitalWrite(servo_1, HIGH);
1138         delayMicroseconds(pwm_1);
1139         digitalWrite(servo_1, LOW);
1140         delay(20 - (pwm_1/1000)); // Volem que el PWM tingui sempre frequencia de 50Hz, per tant el periode de la senyal quadrada ha de ser 20ms. Fent pwm/1000 fem que només surti la primera xifra ja que la funcio
1141 només admet enters.
1142
1143         digitalWrite(servo_2, HIGH);
1144         delayMicroseconds(pwm_2);
1145         digitalWrite(servo_2, LOW);
1146         delay(20 - (pwm_2 / 1000)); // Volem que el PWM tingui sempre frequencia de 50Hz, per tant el periode de la senyal quadrada ha de ser 20ms. Fent pwm/1000 fem que només surti la primera xifra ja que la funcio
1147 només admet enters.
1148
1149
1150         digitalWrite(servo_3, HIGH);
1151         delayMicroseconds(pwm_3);
1152         digitalWrite(servo_3, LOW);
1153         delay(20 - (pwm_3 / 1000)); // Volem que el PWM tingui sempre frequencia de 50Hz, per tant el periode de la senyal quadrada ha de ser 20ms. Fent pwm/1000 fem que només surti la primera xifra ja que la funcio
1154 només admet enters.
1155
1156
1157     }
1158 }
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177

```

11.6. ANNEX VI. DATASHEETS DELS COMPONENTS UTILITZATS

11.6.1. SENSOR DE CORRENT ACS712

***Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor***

Not for New Design

These parts are in production but have been determined to be NOT FOR NEW DESIGN. This classification indicates that sale of this device is currently restricted to existing customer applications. The device should not be purchased for new design applications because obsolescence in the near future is probable. Samples are no longer available.

Date of status change: June 5, 2017

Recommended Substitutions:

For existing customer transition, and for new customers or new applications, use ACS723.

NOTE: For detailed information on purchasing options, contact your local Allegro field applications engineer or sales representative.

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, revisions to the anticipated product life cycle plan for a product to accommodate changes in production capabilities, alternative product availabilities, or market demand. The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TÜV America
Certificate Number:
U8V 15 05 54214 038
CB 13 06 54214 026

Package: 8-Lead SOIC (suffix LC)



Not to scale

Description

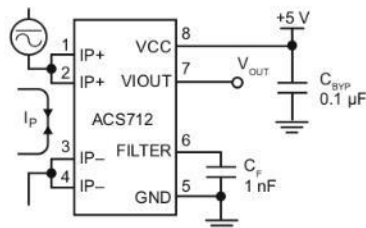
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	−40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	−40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	−40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		−0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		−0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	−40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		−65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFRI}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

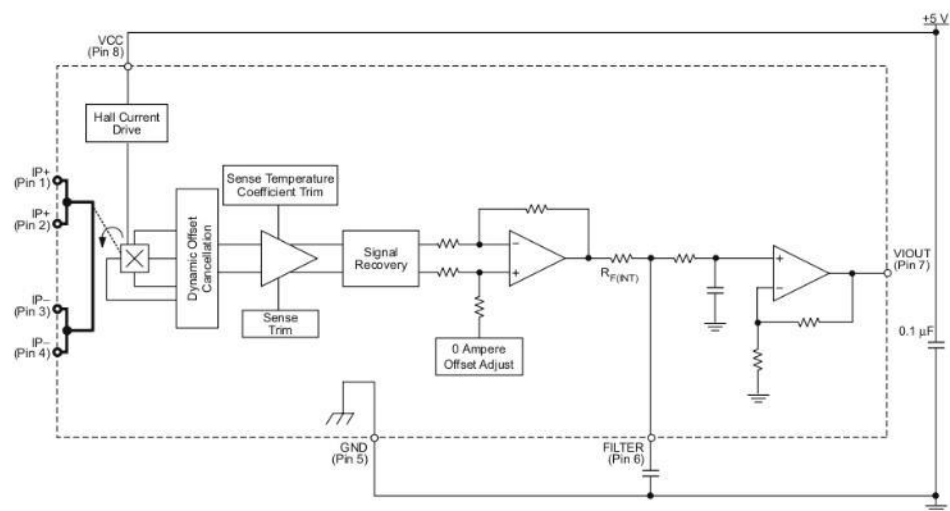


Allegro MicroSystems, LLC
955 Perimeter Road
Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

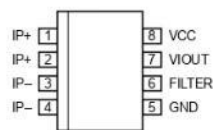
ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



Allegro MicroSystems, LLC
955 Perimeter Road
Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

ACS712

*Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	—	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{OUT} to GND	—	—	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{OUT} to GND	4.7	—	—	kΩ
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	—	1.2	—	mΩ
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	—	3.5	—	μs
Frequency Bandwidth	f	−3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$, I_P is 10 A peak-to-peak	—	80	—	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	—	1.5	—	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	$V_{CC} \times 0.5$	—	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	—	35	—	μs
Magnetic Coupling ²			—	12	—	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		kΩ

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	−40	—	85	°C
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEP 712 evaluation board			5	°C/W
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	°C/W

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems, LLC
955 Perimeter Road
Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	—	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	—	21	—	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	—	-0.26	—	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	—	-0.08	—	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	—	0.054	—	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	—	-0.008	—	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	± 1.5	—	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	—	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	—	11	—	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	—	-0.34	—	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	—	-0.07	—	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	—	0.017	—	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	—	-0.004	—	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	± 1.5	—	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	—	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	—	7	—	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	—	-0.35	—	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	—	-0.08	—	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	—	0.007	—	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	—	-0.002	—	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	± 1.5	—	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

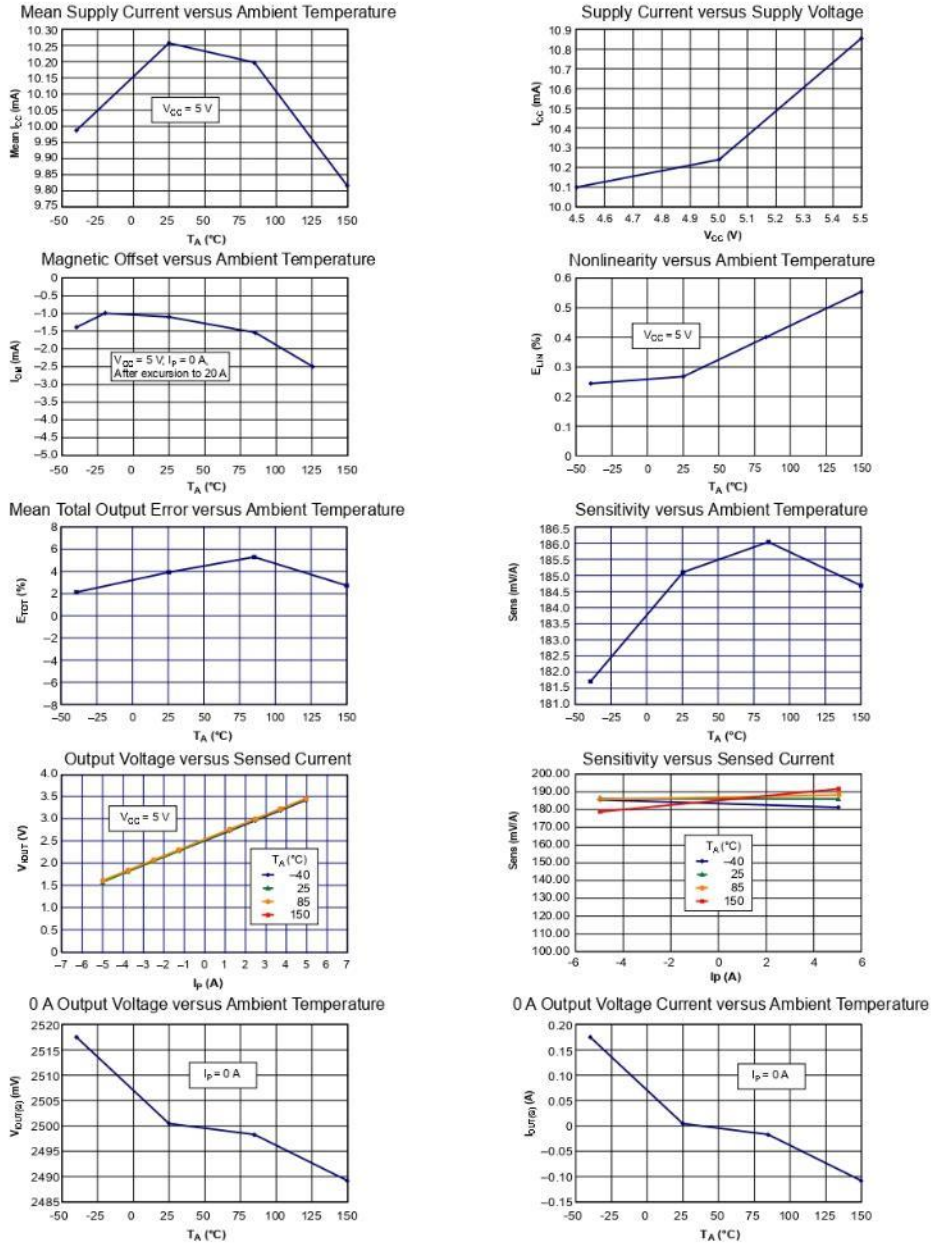
²Percentage of I_P , with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.



Allegro MicroSystems, LLC
955 Perimeter Road
Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

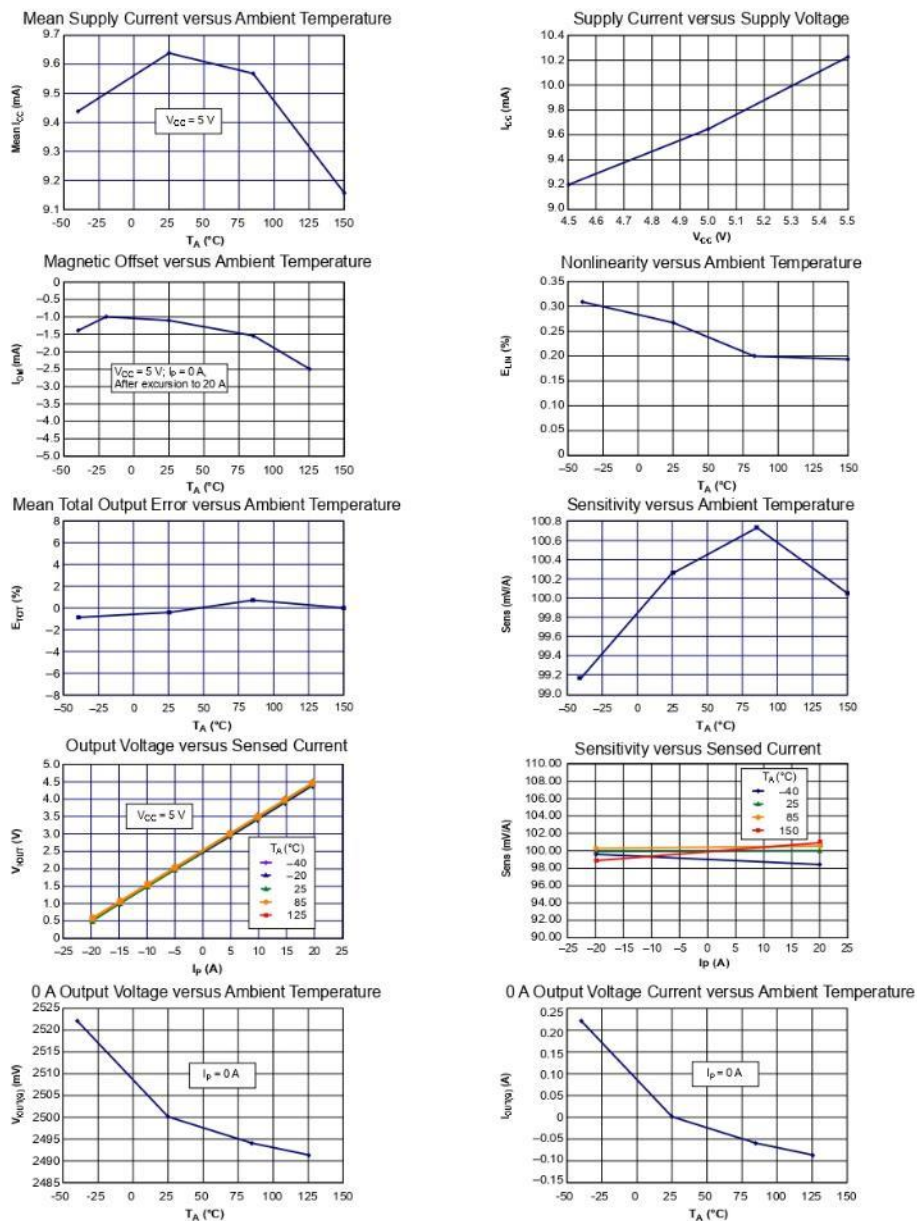
Characteristic Performance

$I_p = 5\text{ A}$, unless otherwise specified



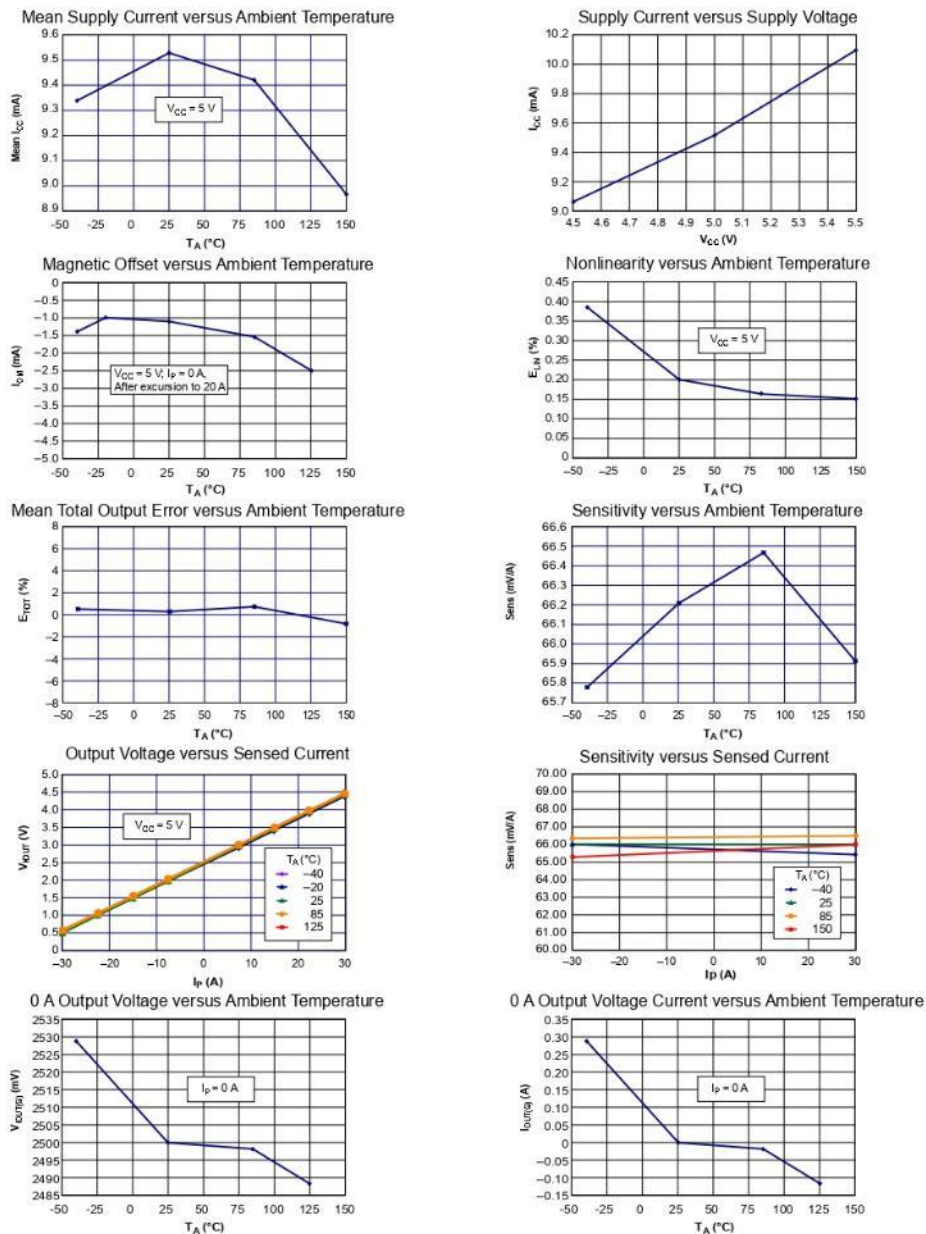
Characteristic Performance

$I_P = 20$ A, unless otherwise specified



Characteristic Performance

$I_P = 30$ A, unless otherwise specified



Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in device output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈ 1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LN}). The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[\frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat } (V_{\text{IOUT_full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})}{2 (V_{\text{IOUT_half-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})} \right] \right\}$$

where $V_{\text{IOUT_full-scale amperes}}$ = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale $\pm I_P$.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT}+} + \text{full-scale amperes} - V_{\text{IOUT(Q)}}}{V_{\text{IOUT(Q)}} - V_{\text{IOUT}-} - \text{full-scale amperes}} \right)$$

Quiescent output voltage (V_{IOUT(Q)}). The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{CC}/2$. Thus, $V_{CC} = 5$ V translates into $V_{\text{IOUT(Q)}} = 2.5$ V. Variation in $V_{\text{IOUT(Q)}}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{CC}/2$ due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy at the the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

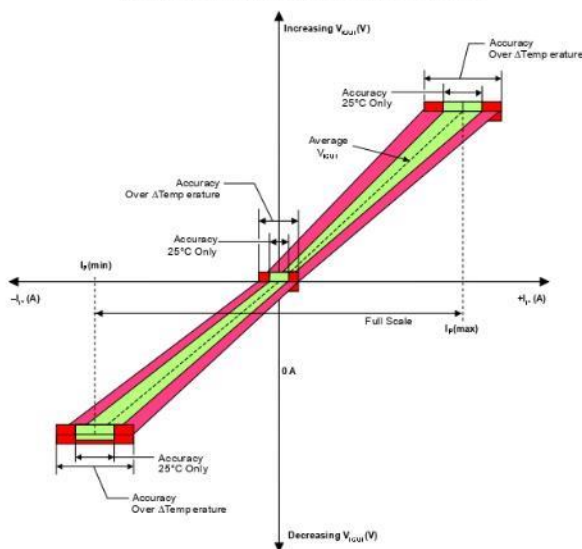
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{\text{IOUT(Q)}}$, (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{\text{IOUT(Q)RAT}}$ (%).

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT(Q)VCC}} / V_{\text{IOUT(Q)5V}}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity, $\Delta \text{Sens}_{\text{RAT}}$ (%), is defined as:

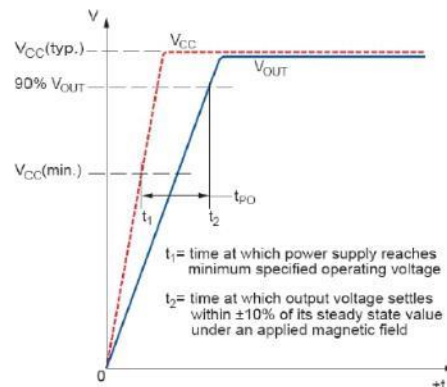
$$100 \left(\frac{\text{Sens}_{V_{CC}} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

Output Voltage versus Sampled Current
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

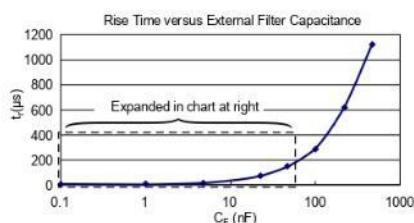
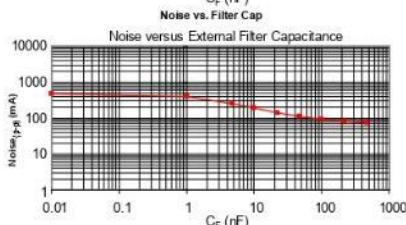
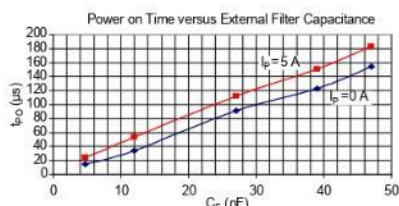
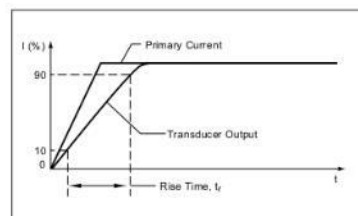


Definitions of Dynamic Response Characteristics

Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within $\pm 10\%$ of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC}(\min)$, as shown in the chart at right.

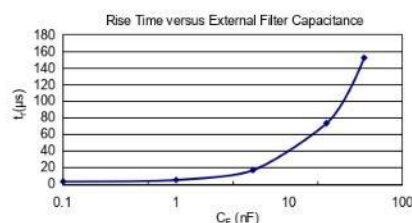
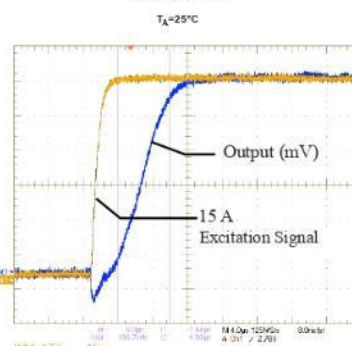


Rise time (t_r). The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and t_{RESPONSE} are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



C_F (nF)	t_r (μs)
Open	3.5
1	5.8
4.7	17.5
22	73.5
47	88.2
100	291.3
220	623
470	1120

Step Response



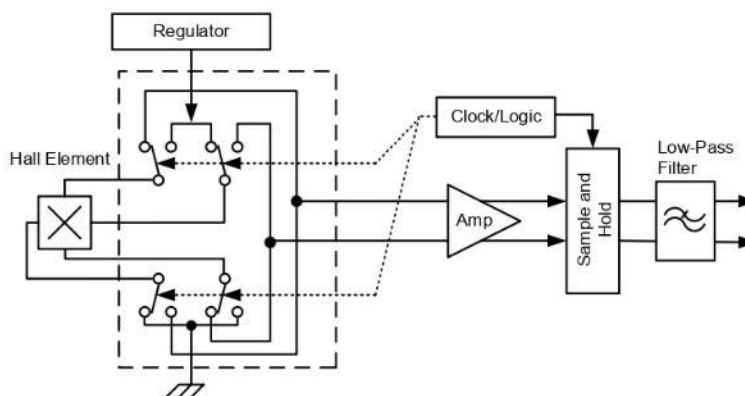
Allegro MicroSystems, LLC
 955 Perimeter Road
 Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro has a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired DC offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated DC offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through

the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.



Concept of Chopper Stabilization Technique

*Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

The circuit diagram shows a precision rectifier. The ACS712 current sensor is powered by a +5V supply through a bypass capacitor C_{BYP} (0.1 μ F). Its non-inverting input ($IP+$) is connected to the +5V supply, and its inverting input ($IP-$) is connected to ground. The output ($VIOUT$) is connected to the non-inverting input of the LT1178 op-amp through a resistor R_F (10 k Ω). The op-amp is configured with a voltage divider at its non-inverting input, consisting of resistors R_1 (1 M Ω) and R_2 (33 k Ω), and a capacitor C_F (1 nF) connected to ground. The op-amp's output ($VOOUT$) is connected to the inverting input through a feedback capacitor C_{OUT} (0.1 μ F). The op-amp is powered by a +5V supply and ground. A diode $D1$ (1N914) is connected between the op-amp's output and the output of the ACS712. A diode $Q1$ (2N7002) is connected between the output of the ACS712 and the output of the op-amp. A capacitor $C1$ (0.1 μ F) is connected between the output of the op-amp and ground. A resistor $R3$ (330 k Ω) is connected between the output of the op-amp and the output of the ACS712. A resistor $R4$ (10 k Ω) is connected between the output of the ACS712 and the output of the op-amp. A capacitor $C2$ (0.1 μ F) is connected between the output of the ACS712 and ground. The output of the ACS712 is labeled V_{PEAK} and the output of the op-amp is labeled V_{RESET} .



12

ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the device. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the device output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable device output attenuation — even for DC signals.

Signal attenuation, ΔV_{ATT} , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter, R_F (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . The transfer function of this resistive divider is given by:

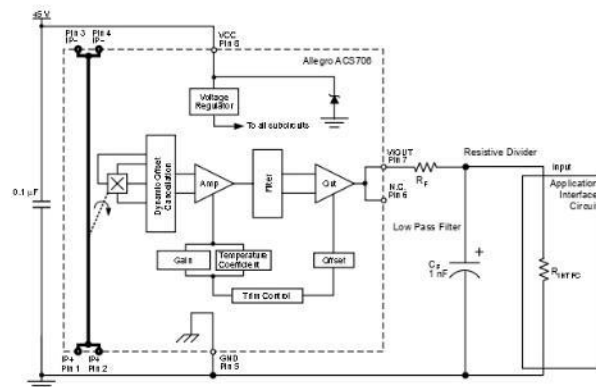
$$\Delta V_{ATT} = V_{OUT} \left(\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

Even if R_F and R_{INTFC} are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

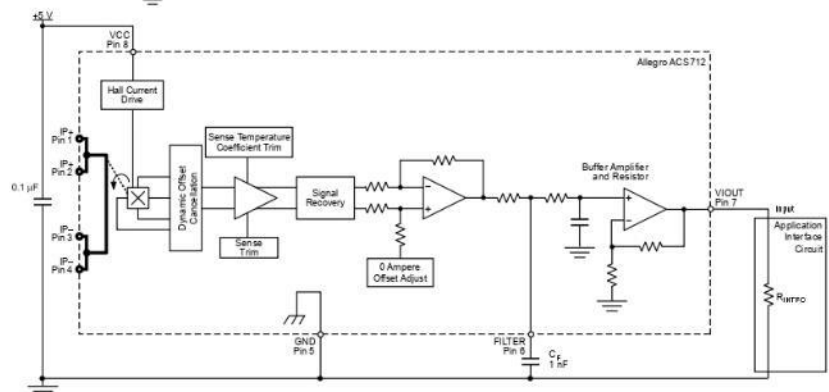
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k Ω .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor, C_F (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for ΔV_{ATT} . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for ΔV_{ATT} .



Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTFC} , shown in Application 6.

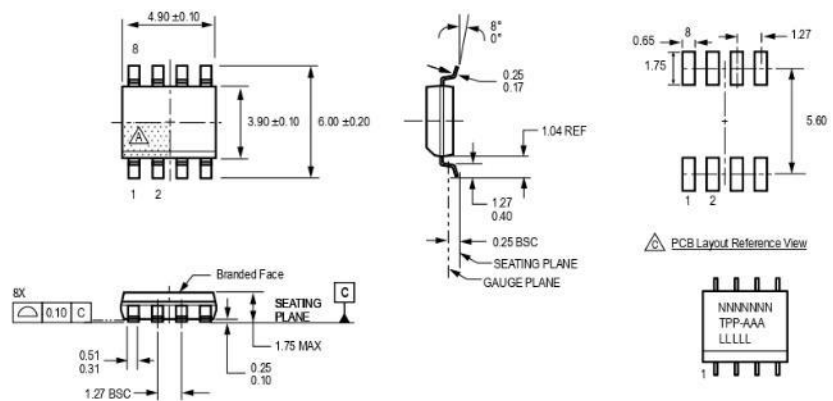


Allegro MicroSystems, LLC
955 Perimeter Road
Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

ACS712

*Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Package LC, 8-pin SOIC



For Reference Only, not for tooling use (reference MS-012AA)
Dimensions in millimeters
Dimensions exclusive of mold flash, gate burrs, and dambar protrusions
Exact case and lead configuration at supplier discretion within limits shown

- ⚠ Terminal #1 mark area
- ⚠ Branding scale and appearance at supplier discretion
- ⚠ Reference land pattern layout (reference IPC7351)
- ⚠ SOIC127P600X175-8M, all pads a minimum of 0.20 mm from all adjacent pads; adjust as necessary to meet application process requirements and PCB layout tolerances

N = Device part number
T = Device temperature range
P = Package Designator
A = Amperage
L = Lot number
Belly Brand = Country of Origin



Allegro MicroSystems, LLC
955 Perimeter Road
Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

Revision History

Revision	Revision Date	Description of Revision
15	November 16, 2012	Update rise time and isolation, I _{OUT} reference data, patents
16	June 5, 2017	Updated product status
17	December 10, 2018	Updated certificate numbers

Copyright ©2006-2018, Allegro MicroSystems, LLC

The products described herein are protected by U.S. patents: 5,621,319; 7,598,601; and 7,709,754.

Allegro MicroSystems, LLC reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, LLC assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

www.allegromicro.com



Allegro MicroSystems, LLC
955 Perimeter Road
Manchester, NH 03103-3353 U.S.A.
www.allegromicro.com

11.6.2. TRANSISTOR PNP TIP 147



TIP140/141/142 TIP145/146/147

COMPLEMENTARY SILICON POWER DARLINGTON TRANSISTORS

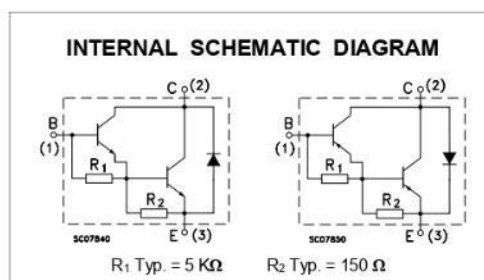
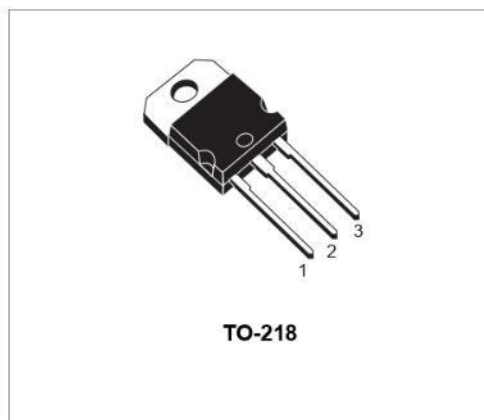
- TIP141, TIP142, TIP145 AND TIP147 ARE STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES
- COMPLEMENTARY PNP - NPN DEVICES
- MONOLITHIC DARLINGTON CONFIGURATION
- INTEGRATED ANTIPARALLEL COLLECTOR-EMITTER DIODE

APPLICATIONS

- LINEAR AND SWITCHING INDUSTRIAL EQUIPMENT

DESCRIPTION

The TIP140, TIP141 and TIP142 are silicon Epitaxial-Base NPN power transistors in monolithic Darlington configuration, mounted in TO-218 plastic package. They are intended for use in power linear and switching applications. The complementary PNP types are TIP145, TIP146 and TIP147 respectively.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value				Unit
		NPN	TIP140	TIP141	TIP142	
		PNP	TIP145	TIP146	TIP147	
V_{CBO}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)		60	80	100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)		60	80	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)		5			V
I_C	Collector Current		10			A
I_{CM}	Collector Peak Current		20			A
I_B	Base Current		0.5			A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_{case} \leq 25^\circ C$		125			W
T_{stg}	Storage Temperature		-65 to 150			$^\circ C$
T_j	Max. Operating Junction Temperature		150			$^\circ C$

For PNP types voltage and current values are negative.

TIP140 / TIP141 / TIP142 / TIP145 / TIP146 / TIP147

THERMAL DATA

$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1	°C/W
----------------	----------------------------------	-----	---	------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{case} = 25 °C unless otherwise specified)

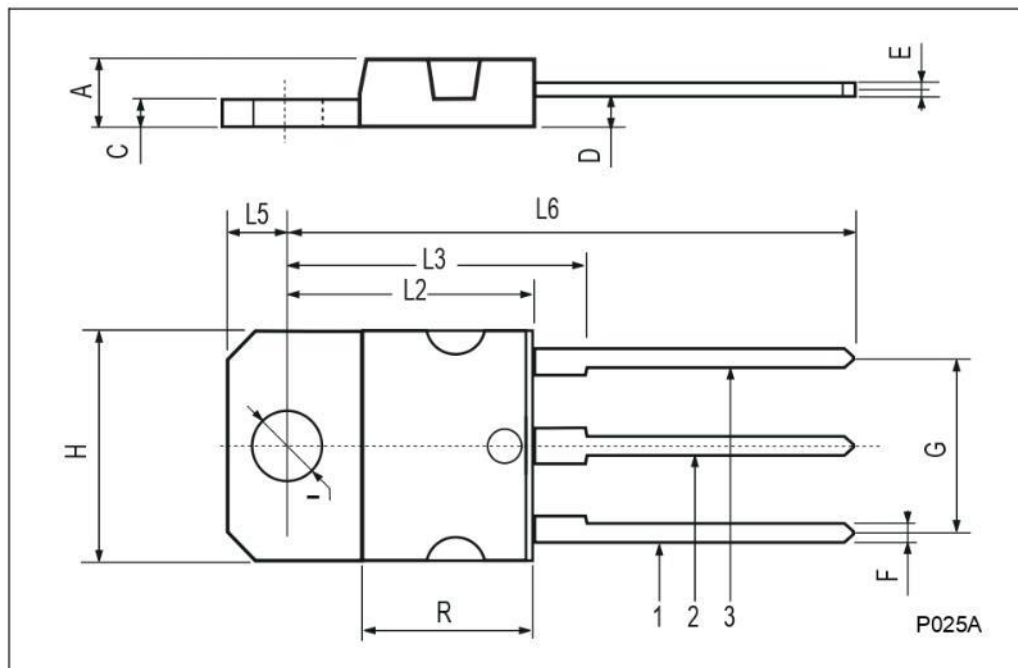
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-off Current ($I_E = 0$)	for TIP140/145 $V_{CB} = 60$ V for TIP141/146 $V_{CB} = 80$ V for TIP142/147 $V_{CB} = 100$ V			1 1 1	mA mA mA
I_{CEO}	Collector Cut-off Current ($I_B = 0$)	for TIP140/145 $V_{CE} = 30$ V for TIP141/146 $V_{CE} = 40$ V for TIP142/147 $V_{CE} = 50$ V			2 2 2	mA mA mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 5$ V			2	mA
$V_{CE(sus)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 30$ mA for TIP140/145 for TIP141/146 for TIP142/147	60 80 100			V V V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 5$ A $I_B = 10$ mA $I_C = 10$ A $I_B = 40$ mA			2 3	V V
$V_{BE(on)}^*$	Base-Emitter Voltage	$I_C = 10$ A $V_{CE} = 4$ V			3	V
h_{FE}^*	DC Current Gain	$I_C = 5$ A $V_{CE} = 4$ V $I_C = 10$ A $V_{CE} = 4$ V	1000 500			
t_{on} t_{off}	RESISTIVE LOAD Turn-on Time Turn-off Time	$I_C = 10$ A $I_{B1} = 40$ mA $I_{B2} = -40$ mA $R_L = 3 \Omega$		0.9 4		μs μs

For PNP types voltage and current values are negative.

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %

TO-218 (SOT-93) MECHANICAL DATA

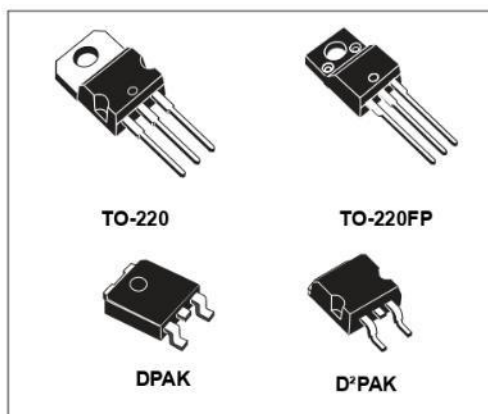
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.7		4.9	0.185		0.193
C	1.17		1.37	0.046		0.054
D		2.5			0.098	
E	0.5		0.78	0.019		0.030
F	1.1		1.3	0.043		0.051
G	10.8		11.1	0.425		0.437
H	14.7		15.2	0.578		0.598
L2	–		16.2	–		0.637
L3		18			0.708	
L5	3.95		4.15	0.155		0.163
L6		31			1.220	
R	–		12.2	–		0.480
Ø	4		4.1	0.157		0.161



11.6.3. CONVERTIDOR DE VOLTATGE L7808

Positive voltage regulator ICs

Datasheet - production data



Description

The L78 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, D²PAK and DPAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications.

These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type embeds internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

Features

- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of 5; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection
- 2 % output voltage tolerance (A version)
- Guaranteed in extended temperature range (A version)

Contents

1	Diagram	5
2	Pin configuration	6
3	Maximum ratings	7
4	Test circuits	8
5	Electrical characteristics	9
6	Application information	25
	6.1 Design consideration	25
7	Typical performance	35
8	Package mechanical data	37
9	Packaging mechanical data	52
10	Order codes	55
11	Revision history	57

List of tables

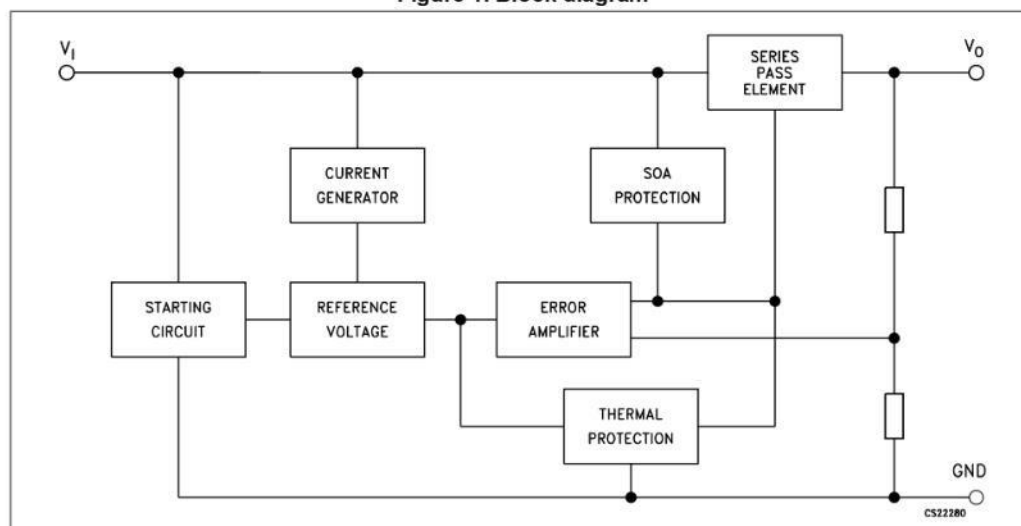
Table 1.	Absolute maximum ratings	7
Table 2.	Thermal data	7
Table 3.	Electrical characteristics of L7805A	9
Table 4.	Electrical characteristics of L7806A	10
Table 5.	Electrical characteristics of L7808A	11
Table 6.	Electrical characteristics of L7809A	12
Table 7.	Electrical characteristics of L7812A	13
Table 8.	Electrical characteristics of L7815A	14
Table 9.	Electrical characteristics of L7824A	15
Table 10.	Electrical characteristics of L7805C	16
Table 11.	Electrical characteristics of L7806C	17
Table 12.	Electrical characteristics of L7808C	18
Table 13.	Electrical characteristics of L7885C	19
Table 14.	Electrical characteristics of L7809C	20
Table 15.	Electrical characteristics of L7812C	21
Table 16.	Electrical characteristics of L7815C	22
Table 17.	Electrical characteristics of L7818C	23
Table 18.	Electrical characteristics of L7824C	24
Table 19.	TO-220 (dual gauge) mechanical data	39
Table 20.	TO-220 SG (single gauge) mechanical data	41
Table 21.	TO-220FP mechanical data	43
Table 22.	DPAK mechanical data	45
Table 23.	D ² PAK (SMD 2L STD-ST) mechanical data	48
Table 24.	D ² PAK (SMD 2L Wooseok-subcon.) mechanical data	50
Table 25.	DPAK and D ² PAK tape and reel mechanical data	54
Table 26.	Order codes	55
Table 27.	Document revision history	57

List of figures

Figure 1.	Block diagram	5
Figure 2.	Pin connections (top view)	6
Figure 3.	Schematic diagram	6
Figure 4.	Application circuits	7
Figure 5.	DC parameter	8
Figure 6.	Load regulation	8
Figure 7.	Ripple rejection	8
Figure 8.	Fixed output regulator	25
Figure 9.	Current regulator	26
Figure 10.	Circuit for increasing output voltage	26
Figure 11.	Adjustable output regulator (7 to 30 V)	27
Figure 12.	0.5 to 10 V regulator	27
Figure 13.	High current voltage regulator	28
Figure 14.	High output current with short circuit protection	28
Figure 15.	Tracking voltage regulator	29
Figure 16.	Split power supply ($\pm 15\text{ V} - 1\text{ A}$)	29
Figure 17.	Negative output voltage circuit	30
Figure 18.	Switching regulator	30
Figure 19.	High input voltage circuit (configuration 1)	30
Figure 20.	High input voltage circuit (configuration 2)	31
Figure 21.	High input and output voltage	31
Figure 22.	Reducing power dissipation with dropping resistor	31
Figure 23.	Remote shutdown	32
Figure 24.	Power AM modulator (unity voltage gain, $I_O \leq 0.5$)	32
Figure 25.	Adjustable output voltage with temperature compensation	33
Figure 26.	Light controllers ($V_{O(min)} = V_{XX} + V_{BE}$)	33
Figure 27.	Protection against input short-circuit with high capacitance loads	34
Figure 28.	Dropout voltage vs. junction temperature	35
Figure 29.	Peak output current vs. input/output differential voltage	35
Figure 30.	Supply voltage rejection vs. frequency	35
Figure 31.	Output voltage vs. junction temperature	35
Figure 32.	Output impedance vs. frequency	36
Figure 33.	Quiescent current vs. junction temp.	36
Figure 34.	Load transient response	36
Figure 35.	Line transient response	36
Figure 36.	Quiescent current vs. input voltage	36
Figure 37.	TO-220 (dual gauge) drawing	38
Figure 38.	TO-220 SG (single gauge) drawing	40
Figure 39.	TO-220FP drawing	42
Figure 40.	DPAK drawing	44
Figure 41.	DPAK footprint	46
Figure 42.	D ² PAK (SMD 2L STD-ST) type A drawing	47
Figure 43.	D ² PAK (SMD 2L Wooseok-subcon.) drawing	49
Figure 44.	D ² PAK (SMD 2L Wooseok-subcon.) footprint	51
Figure 45.	Tube for TO-220 (dual gauge) (mm.)	52
Figure 46.	Tube for TO-220 (single gauge) (mm.)	52
Figure 47.	Tape for DPAK and D ² PAK	53
Figure 48.	Reel for DPAK and D ² PAK	53

1 Diagram

Figure 1. Block diagram



2 Pin configuration

Figure 2. Pin connections (top view)

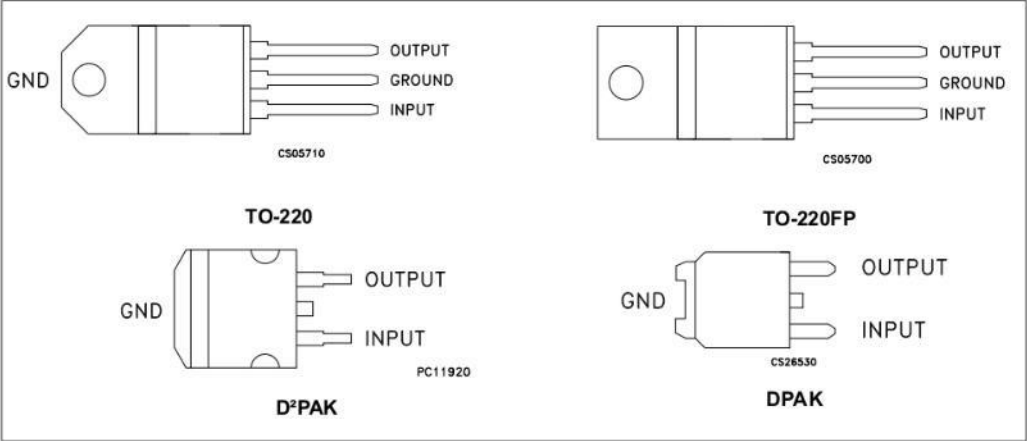
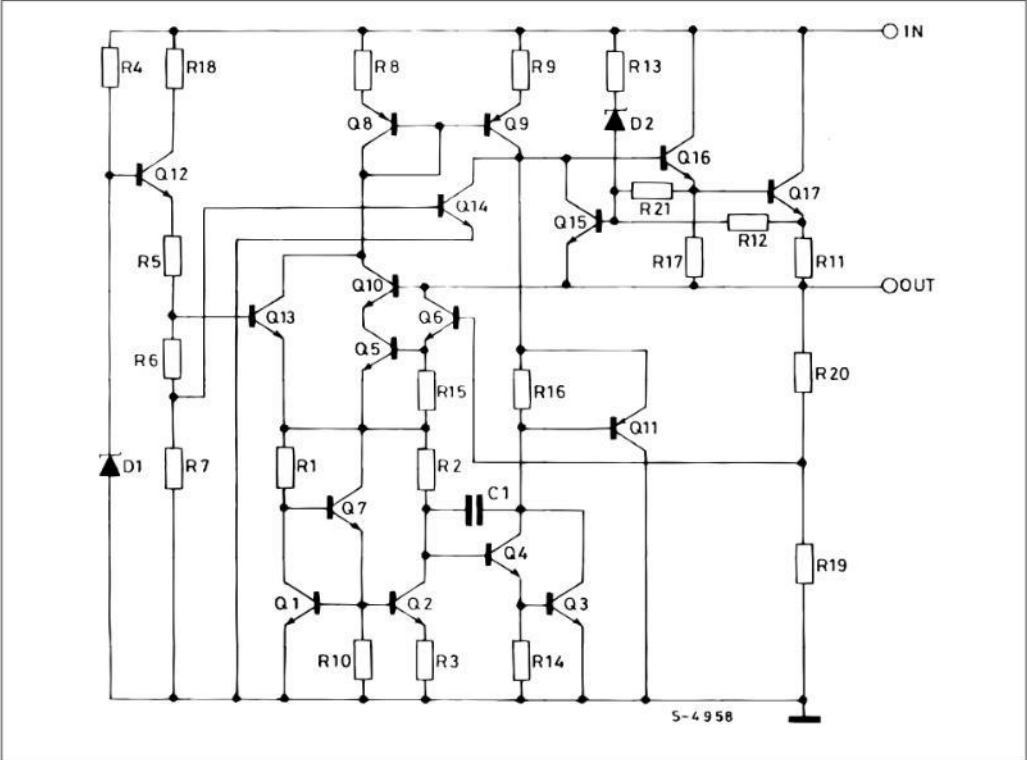


Figure 3. Schematic diagram



3 Maximum ratings

Table 1. Absolute maximum ratings

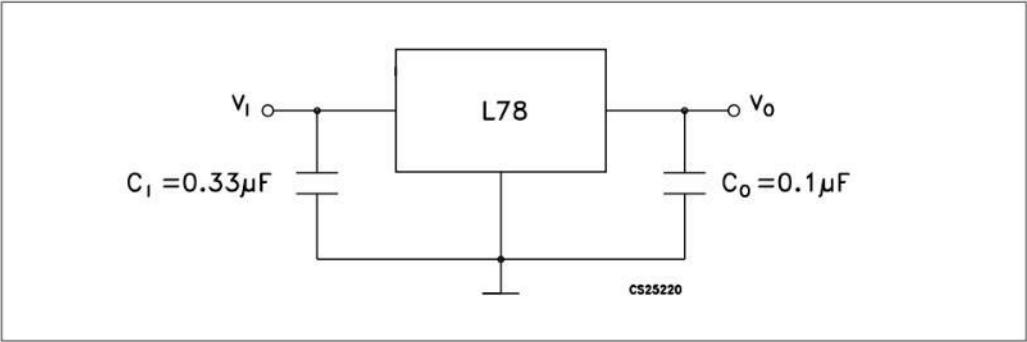
Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	DC input voltage	for $V_O = 5$ to 18 V	35	V
		for $V_O = 20, 24$ V	40	
I_O	Output current		Internally limited	
P_D	Power dissipation		Internally limited	
T_{STG}	Storage temperature range		-65 to 150	°C
T_{OP}	Operating junction temperature range	for L78xxC, L78xxAC	0 to 125	°C
		for L78xxAB	-40 to 125	

Note: Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 2. Thermal data

Symbol	Parameter	D ² PAK	DPAK	TO-220	TO-220FP	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case	3	8	5	5	°C/W
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient	62.5	100	50	60	°C/W

Figure 4. Application circuits



4 Test circuits

Figure 5. DC parameter

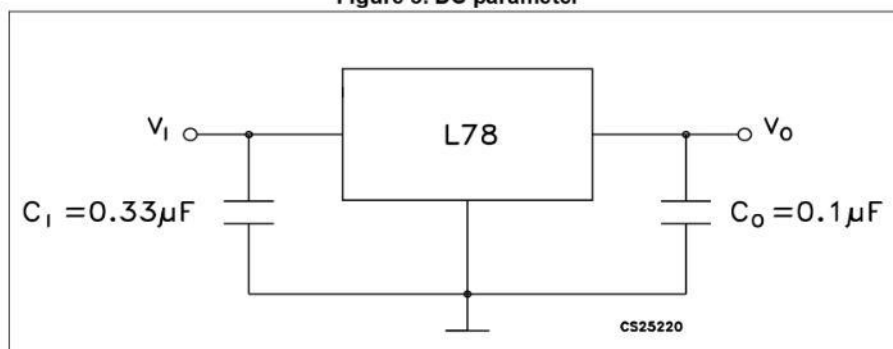


Figure 6. Load regulation

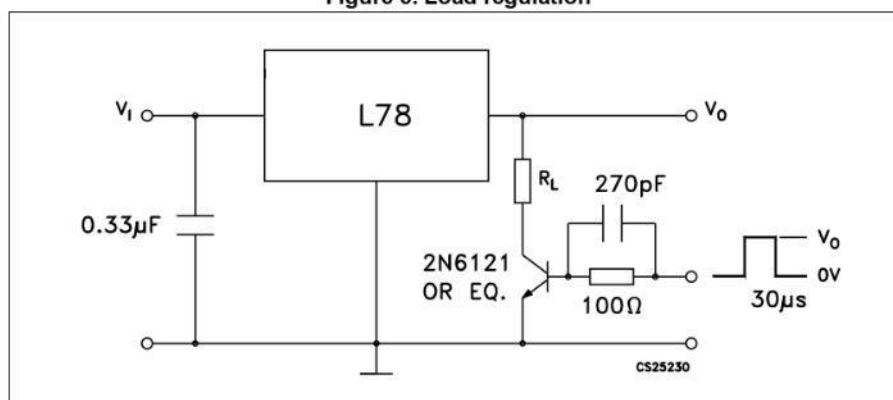
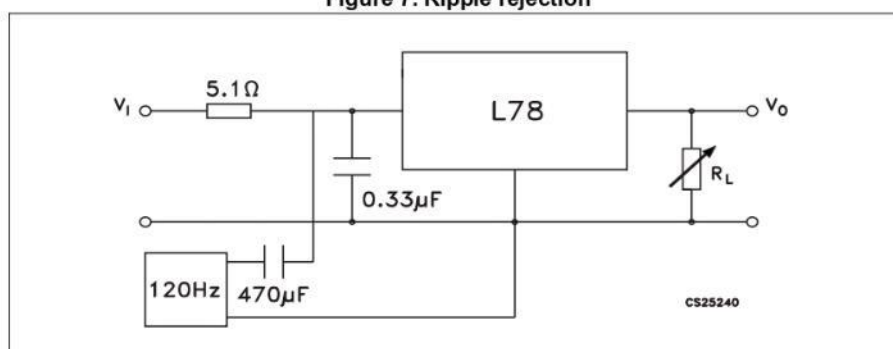


Figure 7. Ripple rejection



5 Electrical characteristics

$V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$ (L7805AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$ (L7805AB), unless otherwise specified^(a).

Table 3. Electrical characteristics of L7805A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.9	5	5.1	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 7.5\text{ to }18\text{ V}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 18\text{ to }20\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7.5\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		7	50	mV
		$V_I = 8\text{ to }12\text{ V}$		10	50	mV
		$V_I = 8\text{ to }12\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	25	mV
		$V_I = 7.3\text{ to }20\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		7	50	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		8	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		4.3	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 8\text{ to }23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 7.5\text{ to }20\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8\text{ to }18\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		68		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		$\text{m}\Omega$
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-1.1		$\text{mV}/^\circ\text{C}$

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

a. Minimum load current for regulation is 5 mA.

$V_I = 11\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7806AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7806AB), unless otherwise specified^(b).

Table 4. Electrical characteristics of L7806A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	5.88	6	6.12	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 8.6\text{ to }19\text{ V}$	5.76	6	6.24	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 19\text{ to }21\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	5.76	6	6.24	V
ΔV_O ⁽¹⁾	Line regulation	$V_I = 8.6\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		9	60	mV
		$V_I = 9\text{ to }13\text{ V}$		11	60	mV
		$V_I = 9\text{ to }13\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		3	30	mV
		$V_I = 8.3\text{ to }21\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		9	60	mV
ΔV_O ⁽¹⁾	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.3	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 9\text{ to }24\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 8.6\text{ to }21\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 9\text{ to }19\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		65		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-0.8		mV/°C

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

b. Minimum load current for regulation is 5 mA.

$V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$ (L7808AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$ (L7808AB), unless otherwise specified^(c).

Table 5. Electrical characteristics of L7808A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$	7.84	8	8.16	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 10.6\text{ to }21\text{ V}$	7.7	8	8.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 21\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$	7.7	8	8.3	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 10.6\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		12	80	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$		15	80	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		5	40	mV
		$V_I = 10.4\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		12	80	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		4.3	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 11\text{ to }23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 10.6\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 11.5\text{ to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		62		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

c. Minimum load current for regulation is 5 mA.

$V_I = 15\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$ (L7809AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$ (L7809AB), unless otherwise specified^(d).

Table 6. Electrical characteristics of L7809A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$	8.82	9	9.18	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 10.6\text{ to }22\text{ V}$	8.65	9	9.35	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 22\text{ to }24\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$	8.65	9	9.35	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 10.6\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		12	90	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$		15	90	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		5	45	mV
		$V_I = 11.4\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		12	90	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		4.3	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 11\text{ to }25\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 10.6\text{ to }23\text{ V}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 11.5\text{ to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		61		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

d. Minimum load current for regulation is 5 mA.

$V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7812AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7812AB), unless otherwise specified^(e).

Table 7. Electrical characteristics of L7812A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	11.75	12	12.25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 14.8\text{ to }25\text{ V}$	11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 25\text{ to }27\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	11.5	12	12.5	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 14.8\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		13	120	mV
		$V_I = 16\text{ to }12\text{ V}$		16	120	mV
		$V_I = 16\text{ to }12\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		6	60	mV
		$V_I = 14.5\text{ to }27\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		13	120	mV
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.4	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 15\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 14.8\text{ to }27\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 15\text{ to }25\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		$\text{m}\Omega$
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-1		$\text{mV}/\text{°C}$

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

e. Minimum load current for regulation is 5 mA.

$V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7815AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7815AB), unless otherwise specified⁽¹⁾.

Table 8. Electrical characteristics of L7815A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	14.7	15	15.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 17.9\text{ to }28\text{ V}$	14.4	15	15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 28\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	14.4	15	15.6	V
ΔV_O ⁽¹⁾	Line regulation	$V_I = 17.9\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		13	150	mV
		$V_I = 20\text{ to }26\text{ V}$		16	150	mV
		$V_I = 20\text{ to }26\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		6	75	mV
		$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		13	150	mV
ΔV_O ⁽¹⁾	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.4	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 18.5\text{ to }28.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		58		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-1		mV/°C

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

f. Minimum load current for regulation is 5 mA.

$V_I = 33\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 0\text{ to }125\text{ °C}$ (L7824AC), $T_J = -40\text{ to }125\text{ °C}$ (L7824AB), unless otherwise specified^(g).

Table 9. Electrical characteristics of L7824A

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25\text{ °C}$	23.5	24	24.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 27.3\text{ to }37\text{ V}$	23	24	25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 37\text{ to }38\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$	23	24	25	V
ΔV_O ⁽¹⁾	Line regulation	$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $T_J = 25\text{ °C}$		31	240	mV
		$V_I = 30\text{ to }36\text{ V}$		35	200	mV
		$V_I = 30\text{ to }36\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		14	120	mV
		$V_I = 26.7\text{ to }38\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$		31	240	mV
ΔV_O ⁽¹⁾	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		25	100	mV
		$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		30	100	
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$		10	50	
I_q	Quiescent current	$T_J = 25\text{ °C}$		4.6	6	mA
					6	mA
ΔI_q	Quiescent current change	$V_I = 27.3\text{ to }38\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$			0.8	mA
		$V_I = 27.3\text{ to }38\text{ V}$, $T_J = 25\text{ °C}$			0.8	mA
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 28\text{ to }38\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$, $I_O = 500\text{ mA}$		54		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25\text{ °C}$		2		V
eN	Output noise voltage	$T_A = 25\text{ °C}$, $B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$		10		$\mu\text{V}/V_O$
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		20		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_A = 25\text{ °C}$		0.2		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25\text{ °C}$		2.2		A
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift			-1.5		mV/°C

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

g. Minimum load current for regulation is 5 mA.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^(h).

Table 10. Electrical characteristics of L7805C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 7\text{ to }18\text{ V}$	4.75	5	5.25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 18\text{ to }20\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	4.75	5	5.25	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 7\text{ to }25\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		3	100	mV
		$V_I = 8\text{ to }12\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		1	50	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 7\text{ to }23\text{ V}$			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		40		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 8\text{ to }18\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	62			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

h. Minimum load current for regulation is 5 mA.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = 11\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified⁽¹⁾.

Table 11. Electrical characteristics of L7806C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5.75	6	6.25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 8$ to 19 V	5.7	6	6.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 19$ to 21 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$	5.7	6	6.3	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 8$ to 25 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$V_I = 9$ to 13 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			60	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 8$ to 24 V			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		45		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 9$ to 19 V , $f = 120\text{ Hz}$	59			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.55		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

i. Minimum load current for regulation is 5 mA.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^{j)}.

Table 12. Electrical characteristics of L7808C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	7.7	8	8.3	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 10.5$ to 21 V	7.6	8	8.4	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 21$ to 25 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$	7.6	8	8.4	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 10.5$ to 25 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = 11$ to 17 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 10.5$ to 25 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		52		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 11.5$ to 21.5 V , $f = 120\text{ Hz}$	56			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.45		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

j. Minimum load current for regulation is 5 mA.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = 14.5\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^(k).

Table 13. Electrical characteristics of L7885C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8.2	8.5	8.8	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 11$ to 21.5 V	8.1	8.5	8.9	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 21.5$ to 26 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$	8.1	8.5	8.9	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 11$ to 27 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$V_I = 11.5$ to 17.5 V , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			160	mV
		$I_O = 250$ to 750 mA , $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 11$ to 26 V			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		55		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 12$ to 22 V , $f = 120\text{ Hz}$	56			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.45		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

k. Minimum load current for regulation is 5 mA.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = 15\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified⁽¹⁾.

Table 14. Electrical characteristics of L7809C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8.64	9	9.36	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 11.5\text{ to }22\text{ V}$	8.55	9	9.45	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 22\text{ to }26\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	8.55	9	9.45	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 11.5\text{ to }26\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
		$V_I = 12\text{ to }18\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			90	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			90	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 11.5\text{ to }26\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		70		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 12\text{ to }23\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	55			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		17		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.40		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

I. Minimum load current for regulation is 5 mA.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^(m).

Table 15. Electrical characteristics of L7812C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.5	12	12.5	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 14.5\text{ to }25\text{ V}$	11.4	12	12.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 25\text{ to }27\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	11.4	12	12.6	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 14.5\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$V_I = 16\text{ to }22\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			120	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 14.5\text{ to }30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		75		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 15\text{ to }25\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	55			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		18		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.35		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

m. Minimum load current for regulation is 5 mA.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified⁽ⁿ⁾.

Table 16. Electrical characteristics of L7815C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	14.4	15	15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 17.5\text{ to }28\text{ V}$	14.25	15	15.75	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 28\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	14.25	15	15.75	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$V_I = 20\text{ to }26\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 17.5\text{ to }30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		90		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 18.5\text{ to }28.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		19		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.23		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

n. Minimum load current for regulation is 5 mA.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = 26\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^(o).

Table 17. Electrical characteristics of L7818C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	17.3	18	18.7	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 21\text{ to }31\text{ V}$	17.1	18	18.9	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 31\text{ to }33\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	17.1	18	18.9	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 21\text{ to }33\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
		$V_I = 24\text{ to }30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			360	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			180	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 21\text{ to }33\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		110		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 22\text{ to }32\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	53			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		22		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.20		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

o. Minimum load current for regulation is 5 mA.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = 33\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified^(p).

Table 18. Electrical characteristics of L7824C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	23	24	25	V
V_O	Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 27\text{ to }37\text{ V}$	22.8	24	25.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $V_I = 37\text{ to }38\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	22.8	24	25.2	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
		$V_I = 30\text{ to }36\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			480	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			240	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			8	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 27\text{ to }38\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-1.5		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		170		$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply voltage rejection	$V_I = 28\text{ to }38\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	50			dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		2		V
R_O	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		28		m Ω
I_{sc}	Short circuit current	$V_I = 35\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.15		A
I_{scp}	Short circuit peak current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

p. Minimum load current for regulation is 5 mA.

6 Application information

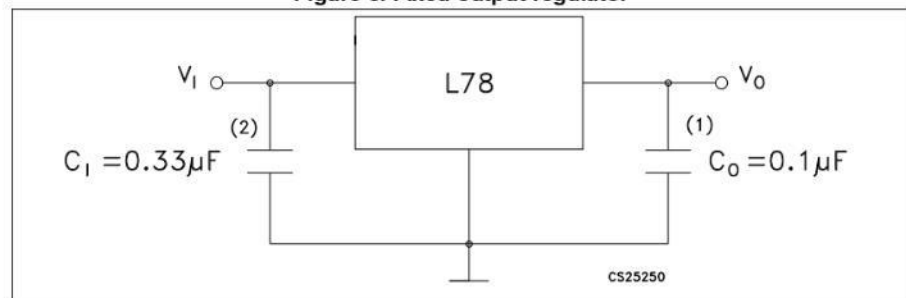
6.1 Design consideration

The L78 Series of fixed voltage regulators are designed with thermal overload protection that shuts down the circuit when subjected to an excessive power overload condition, internal short-circuit protection that limits the maximum current the circuit will pass, and output transistor safe-area compensation that reduces the output short-circuit current as the voltage across the pass transistor is increased. In many low current applications, compensation capacitors are not required. However, it is recommended that the regulator input be bypassed with capacitor if the regulator is connected to the power supply filter with long lengths, or if the output load capacitance is large. An input bypass capacitor should be selected to provide good high frequency characteristics to insure stable operation under all load conditions. A 0.33 μF or larger tantalum, mylar or other capacitor having low internal impedance at high frequencies should be chosen. The bypass capacitor should be mounted with the shortest possible leads directly across the regulators input terminals. Normally good construction techniques should be used to minimize ground loops and lead resistance drops since the regulator has no external sense lead.

The addition of an operational amplifier allows adjustment to higher or intermediate values while retaining regulation characteristics. The minimum voltage obtained with the arrangement is 2 V greater than the regulator voltage.

The circuit of [Figure 13](#) can be modified to provide supply protection against short circuit by adding a short circuit sense resistor, RSC, and an additional PNP transistor. The current sensing PNP must be able to handle the short circuit current of the three terminal regulator. Therefore a four ampere plastic power transistor is specified.

Figure 8. Fixed output regulator



1. Although no output capacitor is need for stability, it does improve transient response.
2. Required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

Figure 9. Current regulator

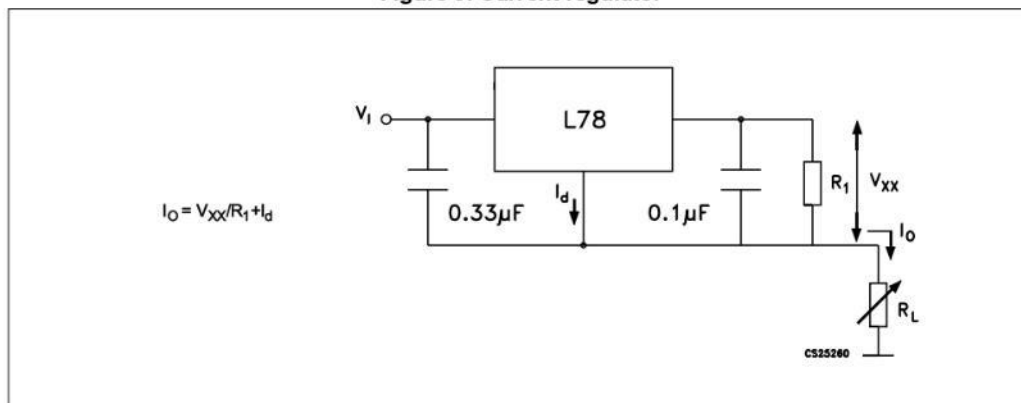


Figure 10. Circuit for increasing output voltage

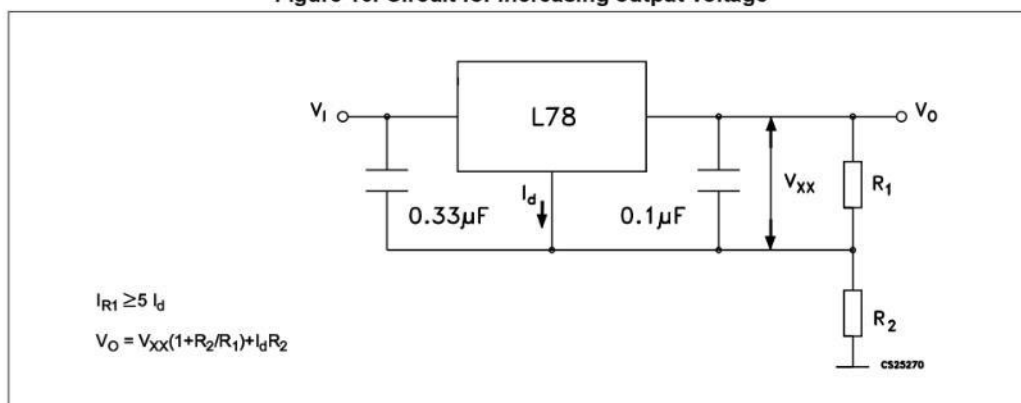


Figure 11. Adjustable output regulator (7 to 30 V)

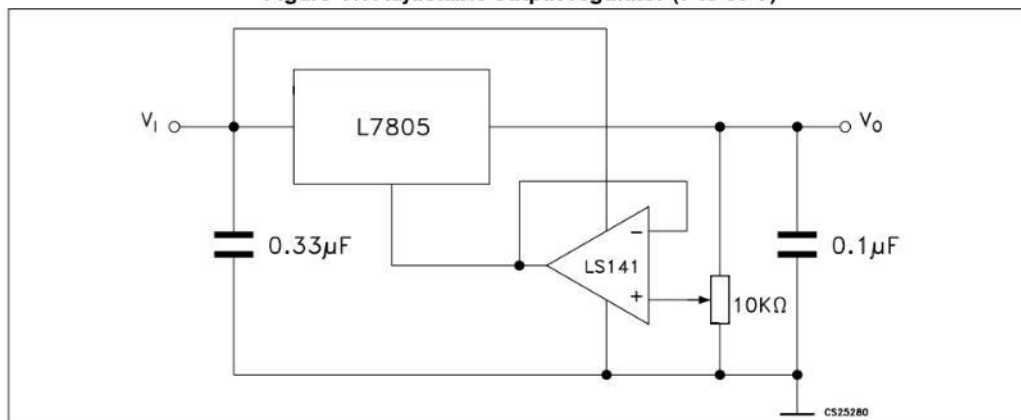


Figure 12. 0.5 to 10 V regulator

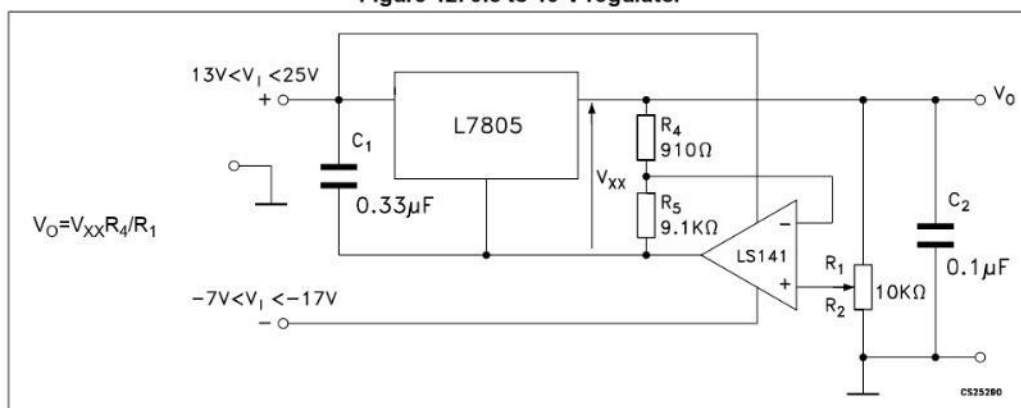


Figure 13. High current voltage regulator

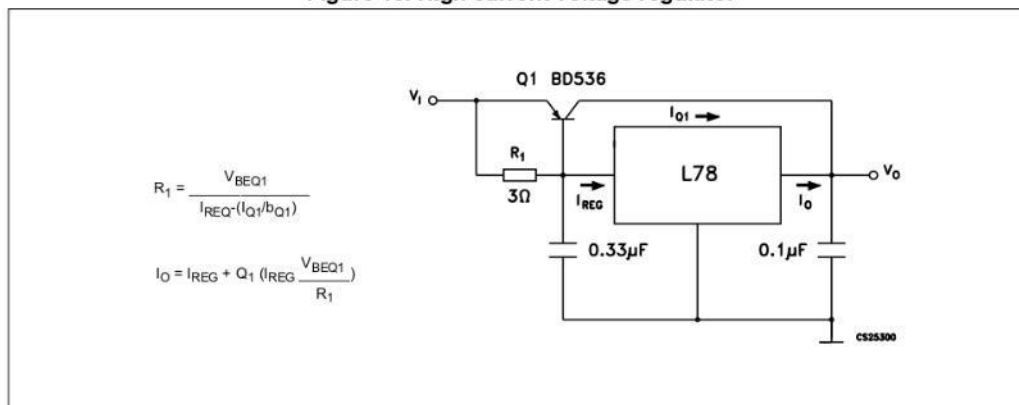


Figure 14. High output current with short circuit protection

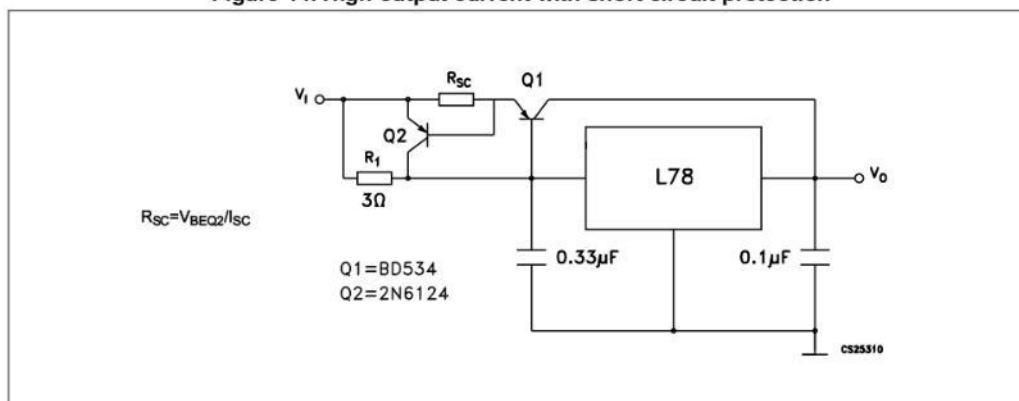
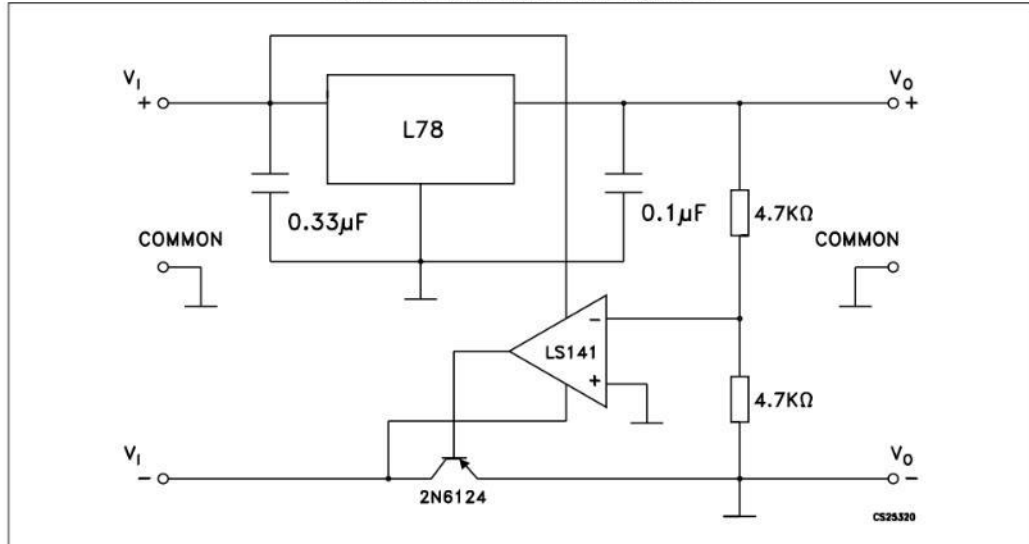
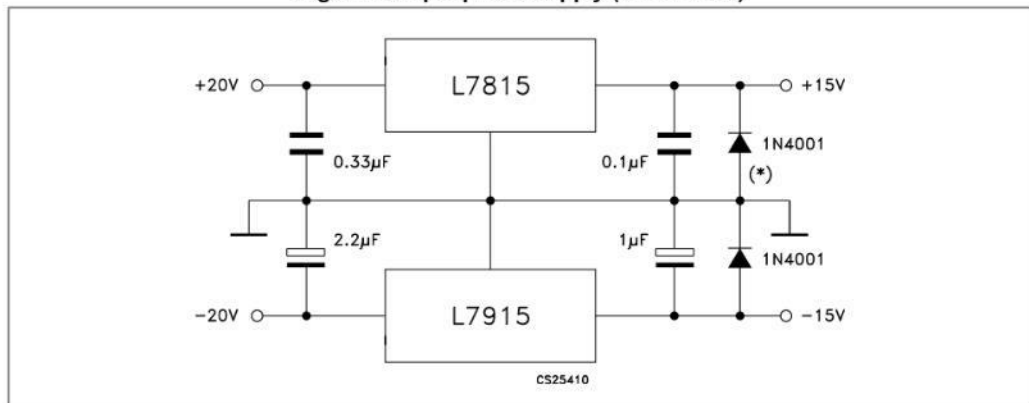


Figure 15. Tracking voltage regulator

Figure 16. Split power supply ($\pm 15\text{ V} - 1\text{ A}$)

* Against potential latch-up problems.

Figure 17. Negative output voltage circuit

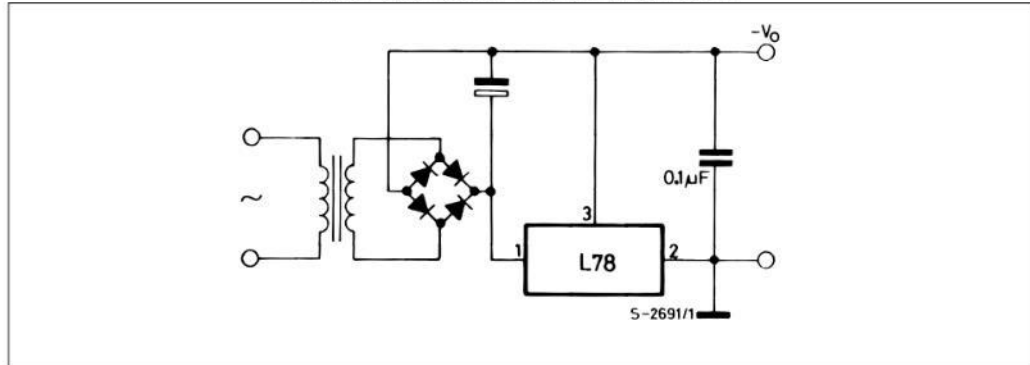


Figure 18. Switching regulator

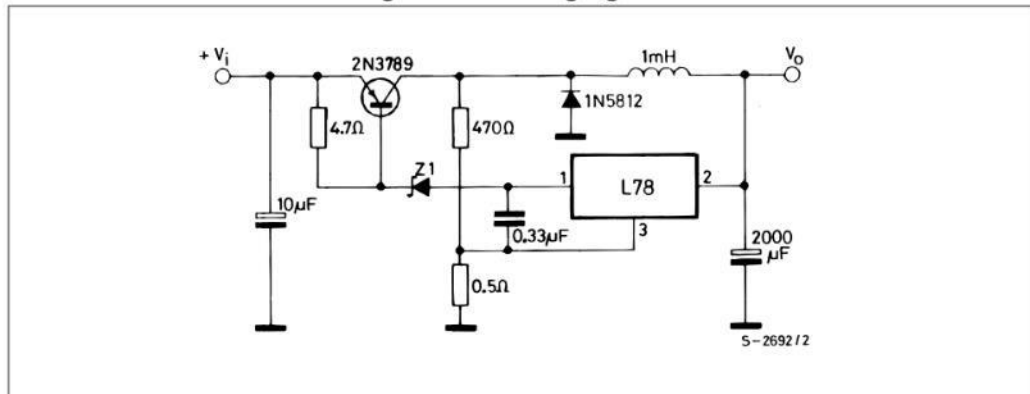


Figure 19. High input voltage circuit (configuration 1)

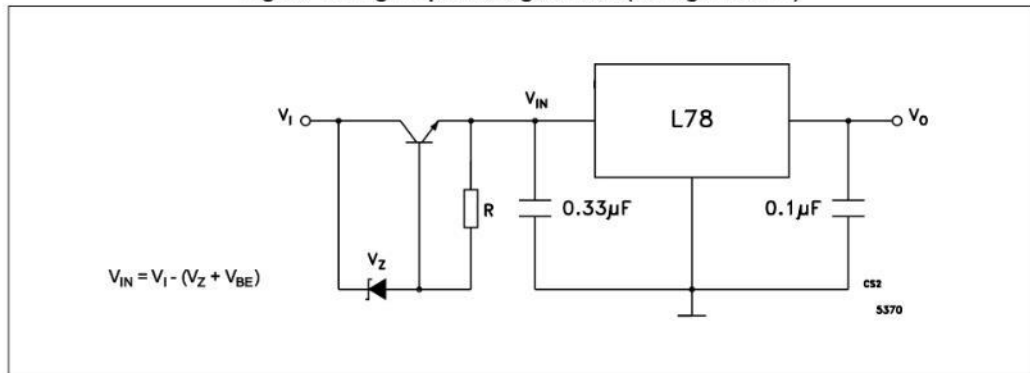


Figure 20. High input voltage circuit (configuration 2)

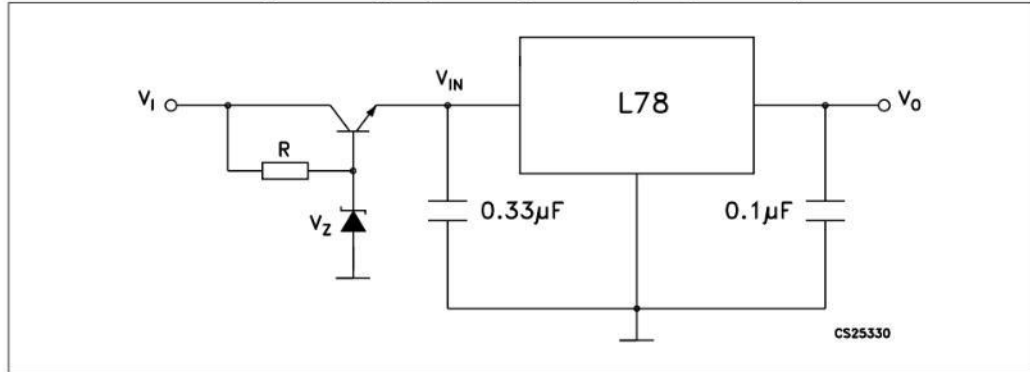


Figure 21. High input and output voltage

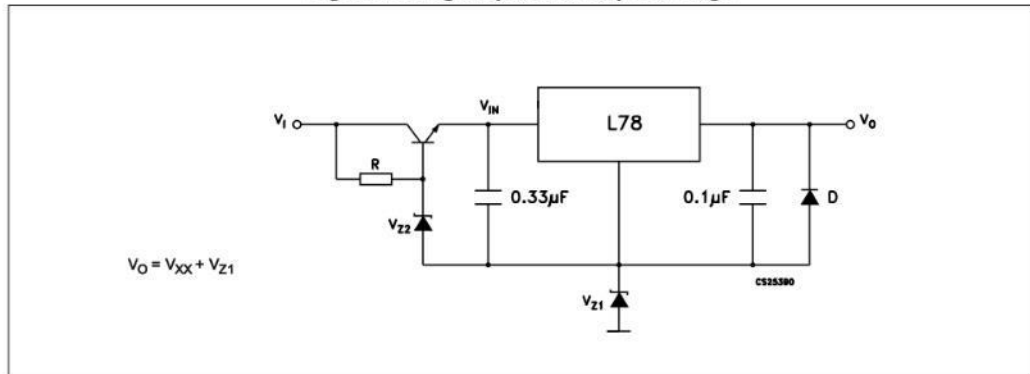


Figure 22. Reducing power dissipation with dropping resistor

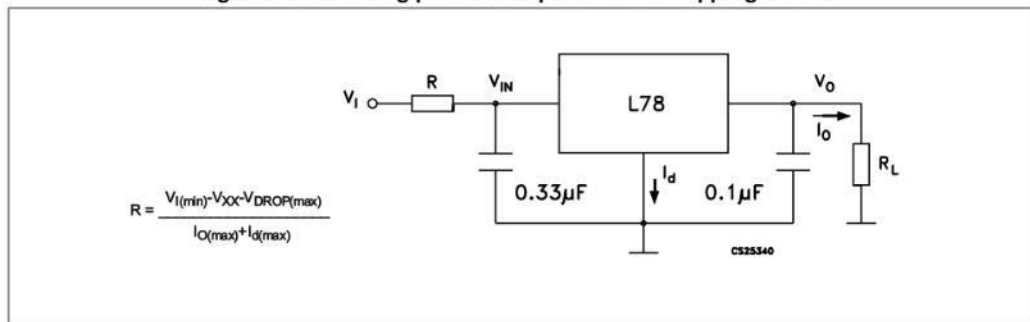
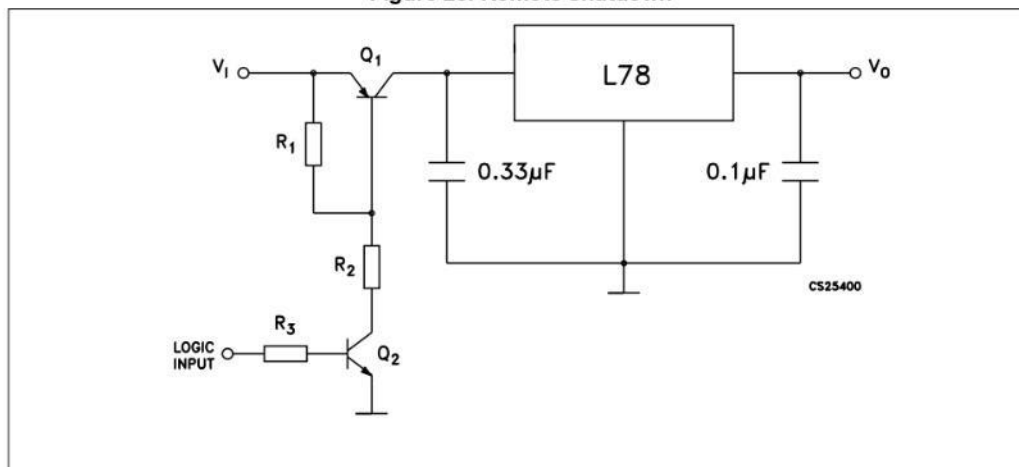
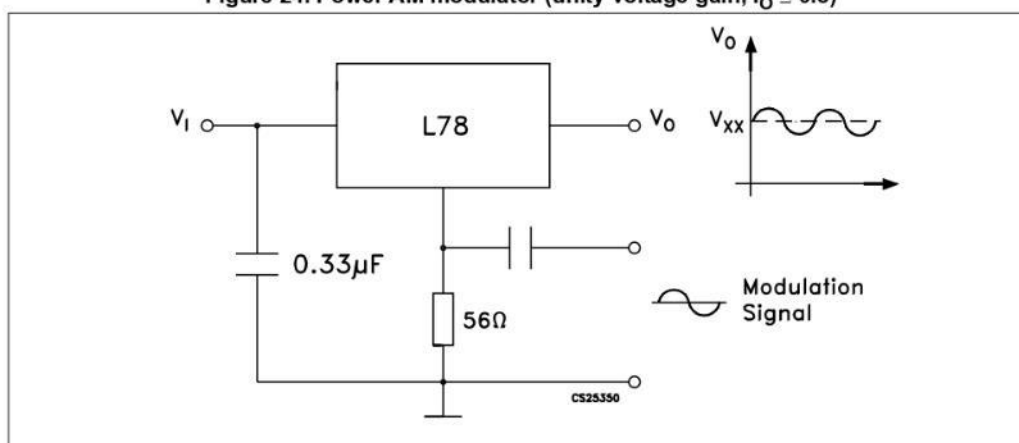
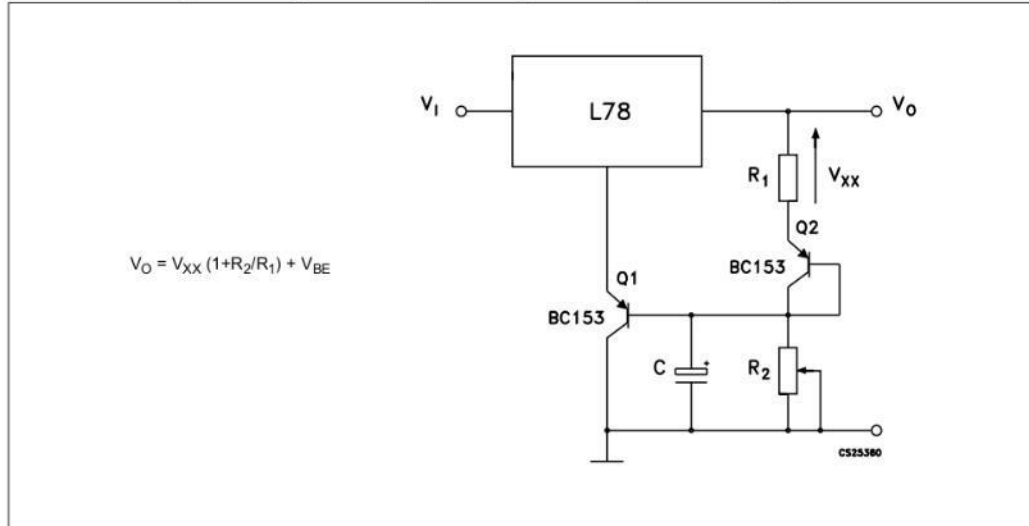


Figure 23. Remote shutdown

Figure 24. Power AM modulator (unity voltage gain, $I_O \leq 0.5$)

Note: The circuit performs well up to 100 kHz.

Figure 25. Adjustable output voltage with temperature compensation



Note: Q_2 is connected as a diode in order to compensate the variation of the $Q_1 V_{BE}$ with the temperature. C allows a slow rise time of the V_O .

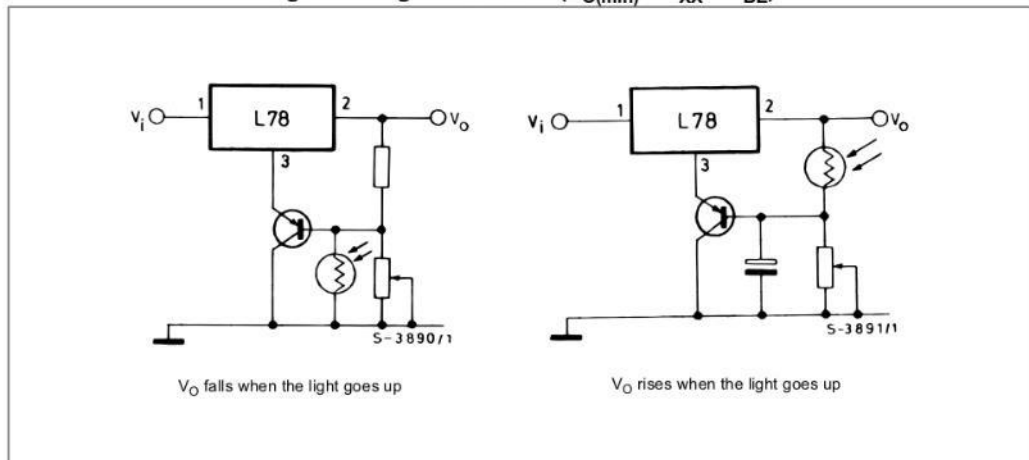
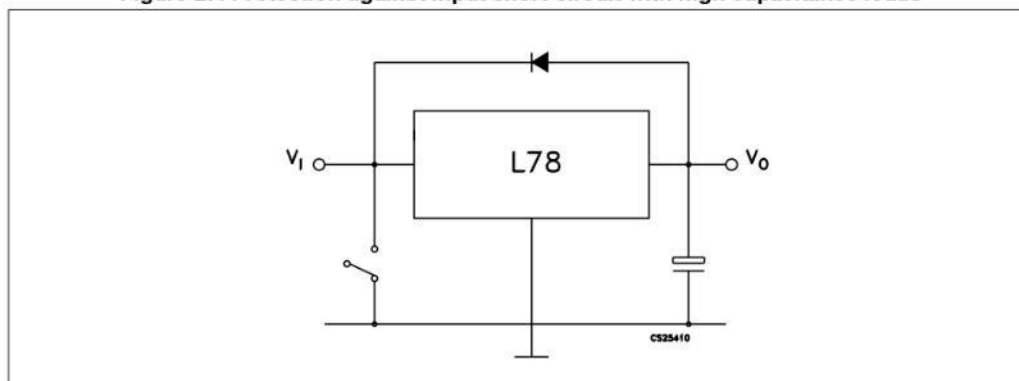
Figure 26. Light controllers ($V_{O(min)} = V_{XX} + V_{BE}$)

Figure 27. Protection against input short-circuit with high capacitance loads

Note: Application with high capacitance loads and an output voltage greater than 6 volts need an external diode (see [Figure 22 on page 31](#)) to protect the device against input short circuit. In this case the input voltage falls rapidly while the output voltage decrease slowly. The capacitance discharges by means of the base-emitter junction of the series pass transistor in the regulator. If the energy is sufficiently high, the transistor may be destroyed. The external diode by-passes the current from the IC to ground.

7 Typical performance

Figure 28. Dropout voltage vs. junction temperature

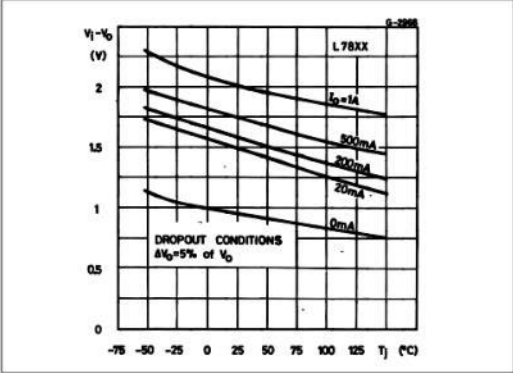


Figure 29. Peak output current vs. input/output differential voltage

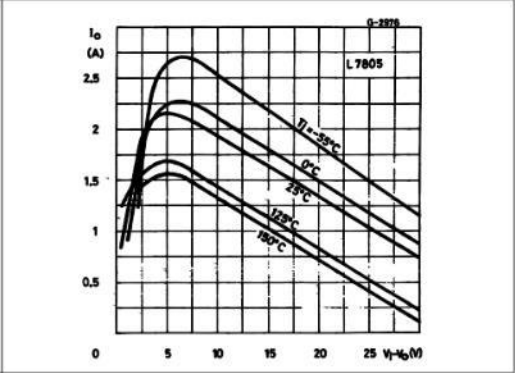


Figure 30. Supply voltage rejection vs. frequency

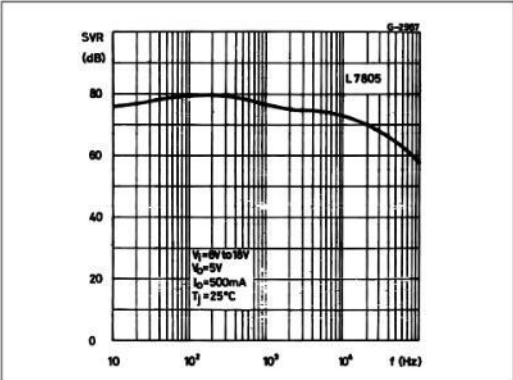


Figure 31. Output voltage vs. junction temperature

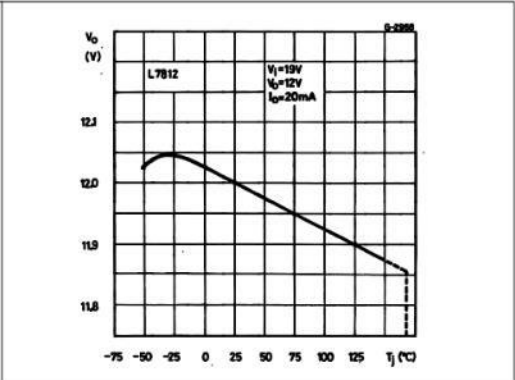


Figure 32. Output impedance vs. frequency

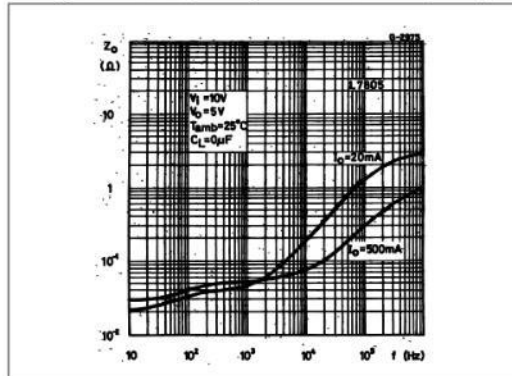


Figure 33. Quiescent current vs. junction temp.

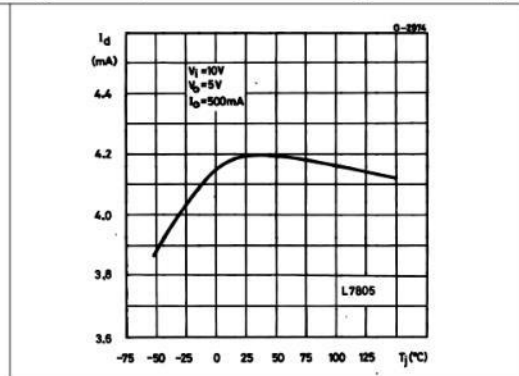


Figure 34. Load transient response

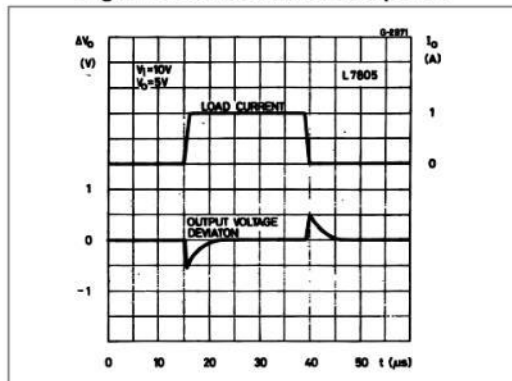


Figure 35. Line transient response

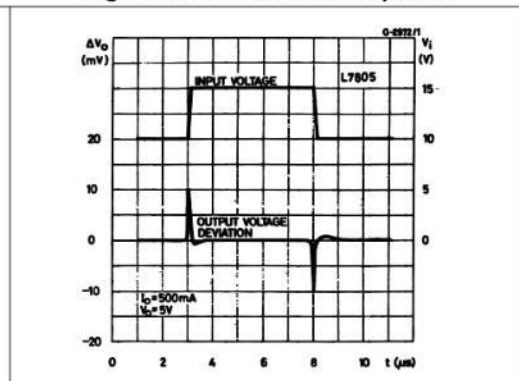
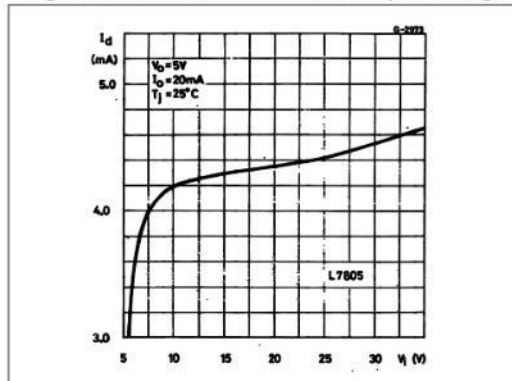


Figure 36. Quiescent current vs. input voltage



8 Package mechanical data

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in different grades of ECOPACK[®] packages, depending on their level of environmental compliance. ECOPACK[®] specifications, grade definitions and product status are available at: www.st.com. ECOPACK[®] is an ST trademark.

Figure 37. TO-220 (dual gauge) drawing

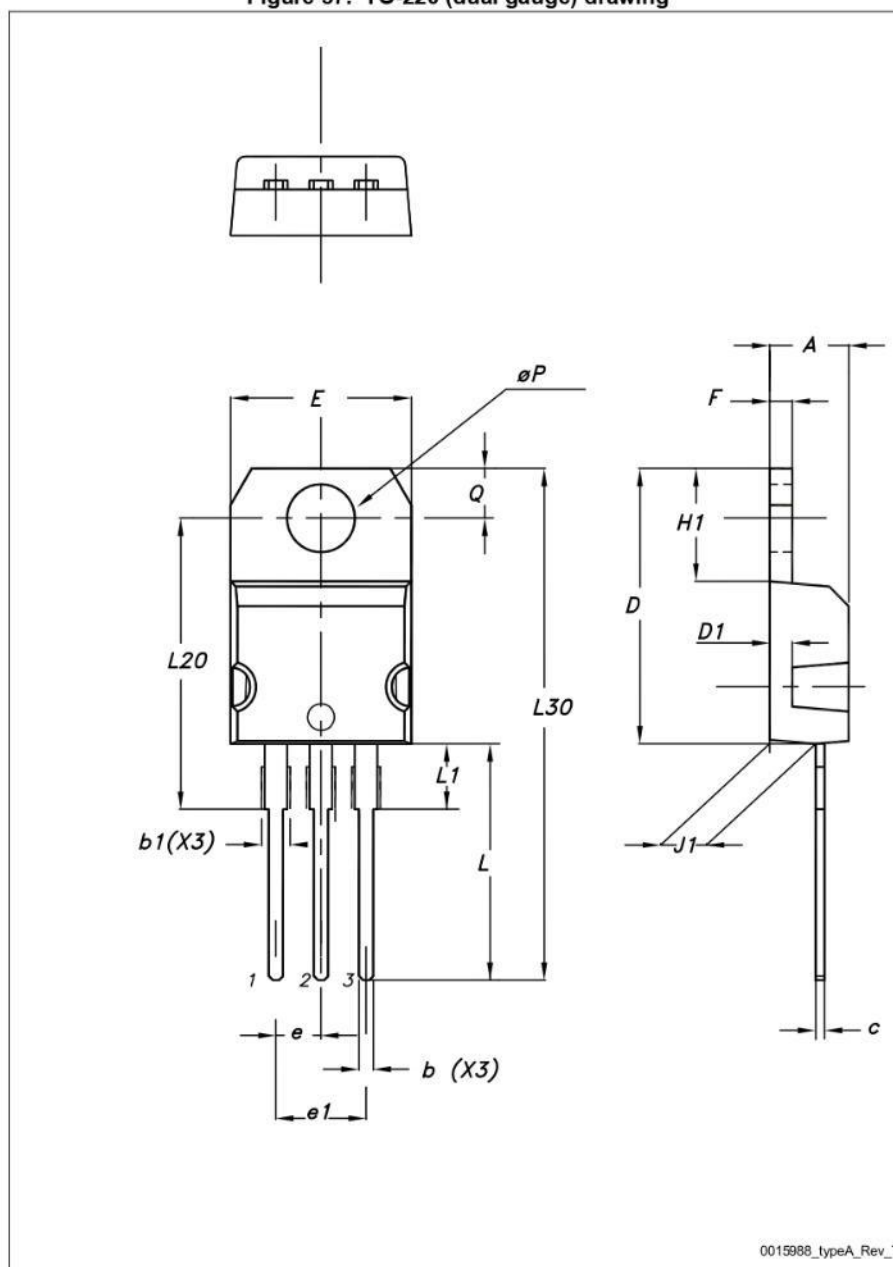


Table 19. TO-220 (dual gauge) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
b	0.61		0.88
b1	1.14		1.70
c	0.48		0.70
D	15.25		15.75
D1		1.27	
E	10		10.40
e	2.40		2.70
e1	4.95		5.15
F	1.23		1.32
H1	6.20		6.60
J1	2.40		2.72
L	13		14
L1	3.50		3.93
L20		16.40	
L30		28.90	
ØP	3.75		3.85
Q	2.65		2.95

Figure 38. TO-220 SG (single gauge) drawing

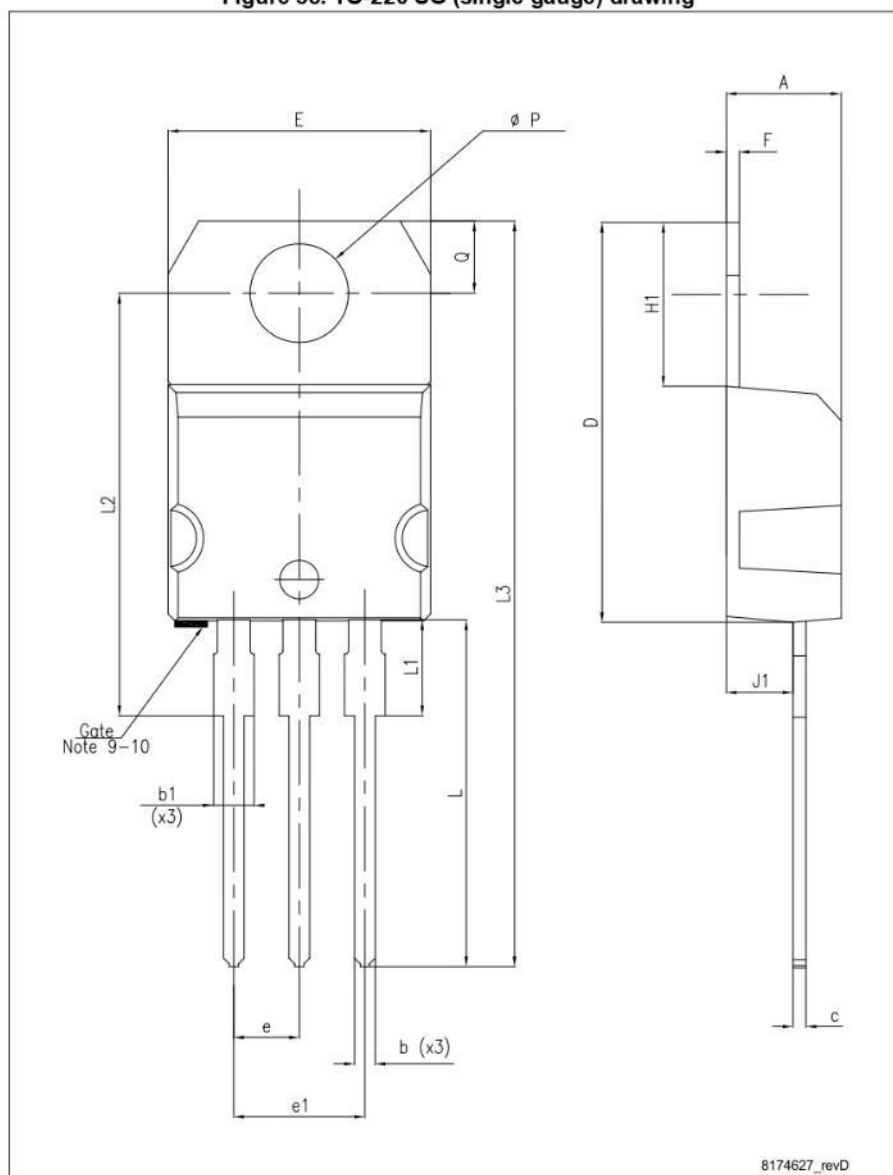


Table 20. TO-220 SG (single gauge) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
b	0.61		0.88
b1	1.14		1.70
c	0.48		0.70
D	15.25		15.75
E	10		10.40
e	2.40		2.70
e1	4.95		5.15
F	0.51		0.60
H1	6.20		6.60
J1	2.40		2.72
L	13		14
L1	3.50		3.93
L20		16.40	
L30		28.90	
ØP	3.75		3.85
Q	2.65		2.95

Figure 39. TO-220FP drawing

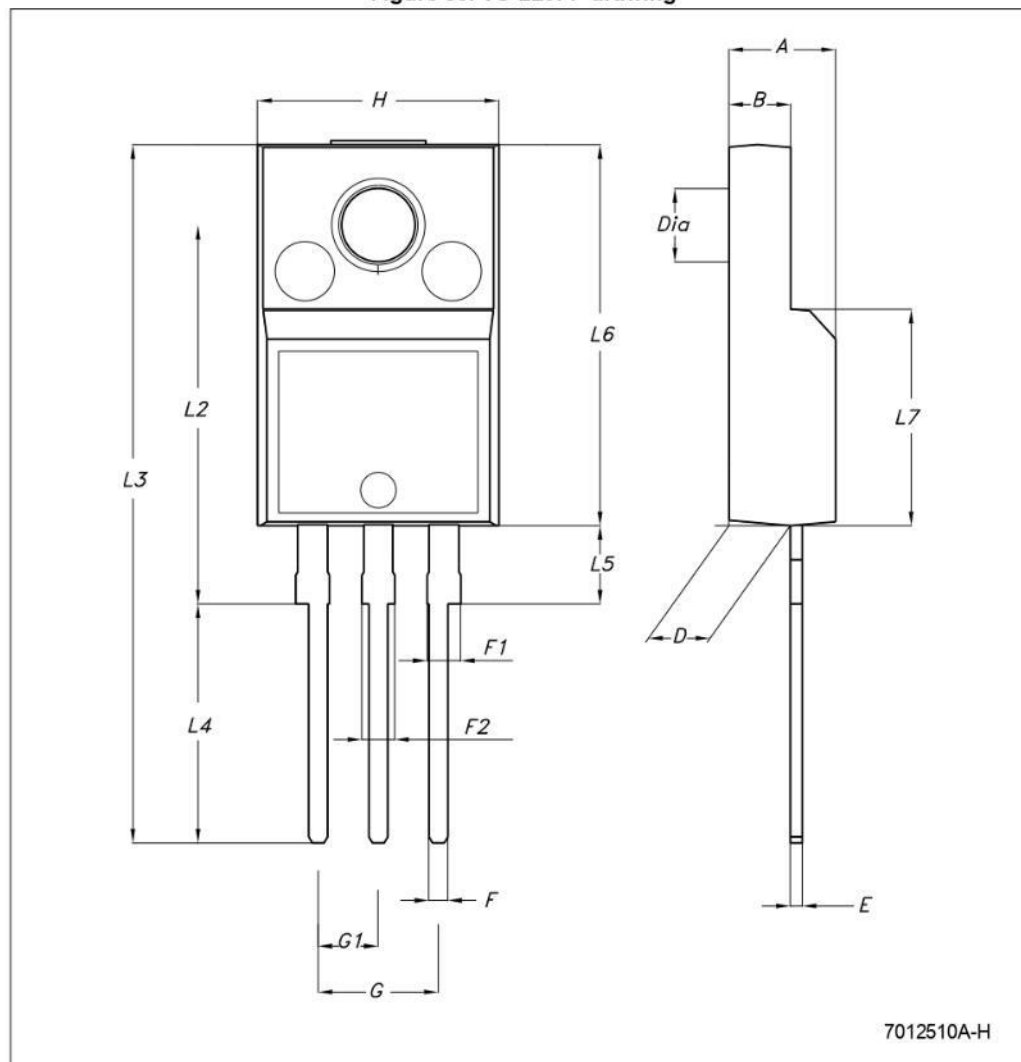


Table 21. TO-220FP mechanical data

Dim.	mm.		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
B	2.5		2.7
D	2.5		2.75
E	0.45		0.70
F	0.75		1
F1	1.15		1.50
F2	1.15		1.50
G	4.95		5.2
G1	2.4		2.7
H	10.0		10.40
L2		16	
L3	28.6		30.6
L4	9.8		10.6
L5	2.9		3.6
L6	15.9		16.4
L7	9		9.3
DIA.	3		3.2

Figure 40. DPAK drawing

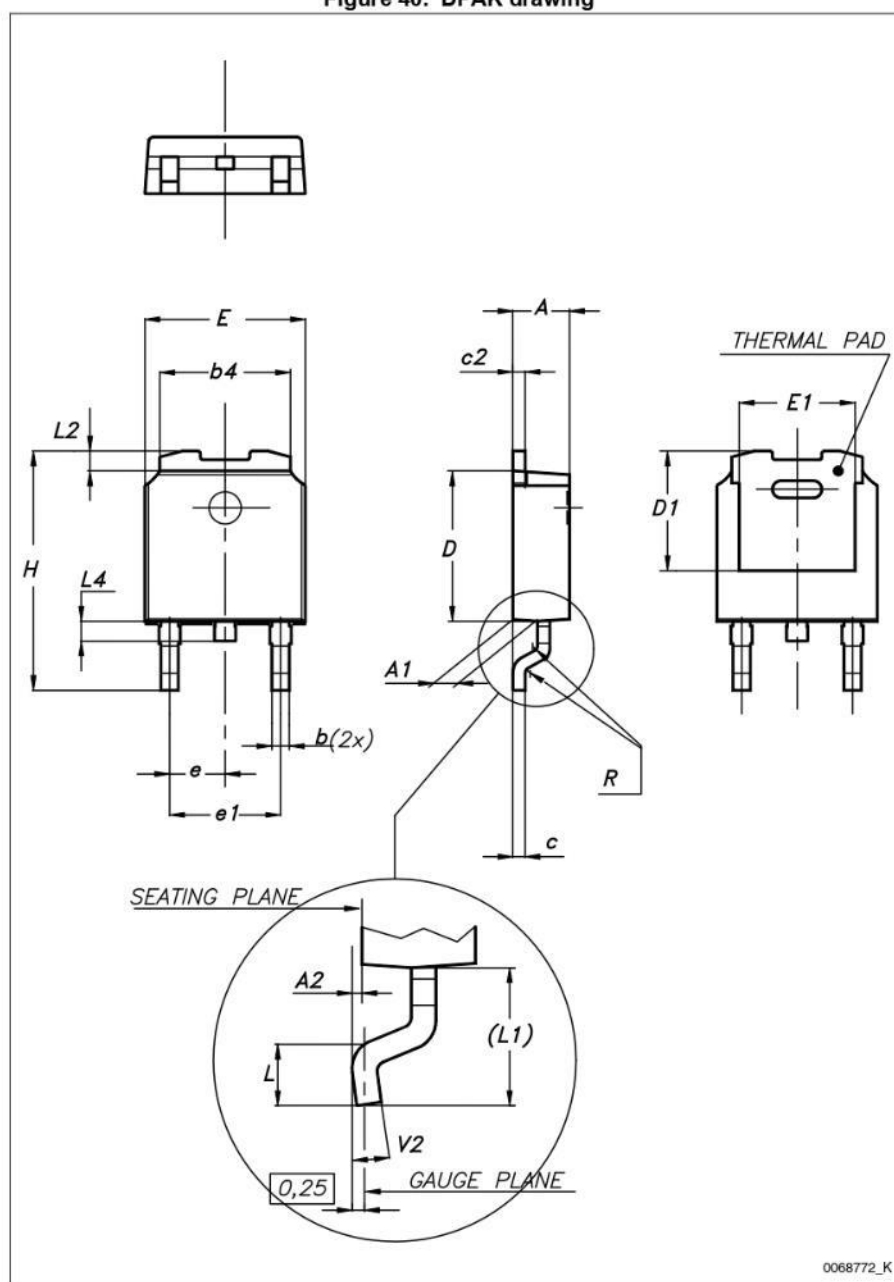
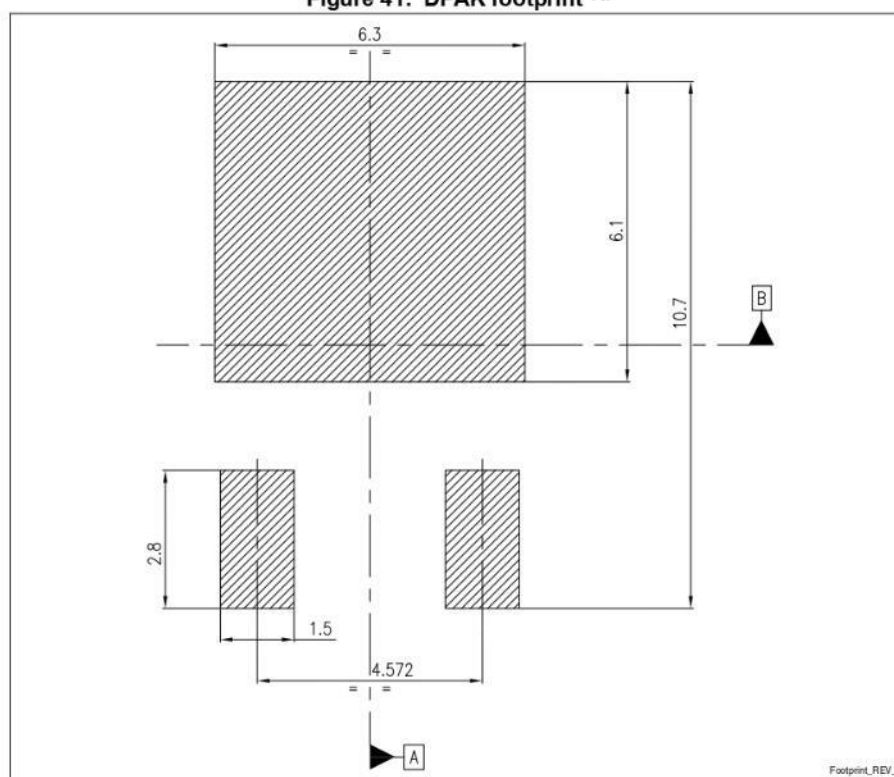


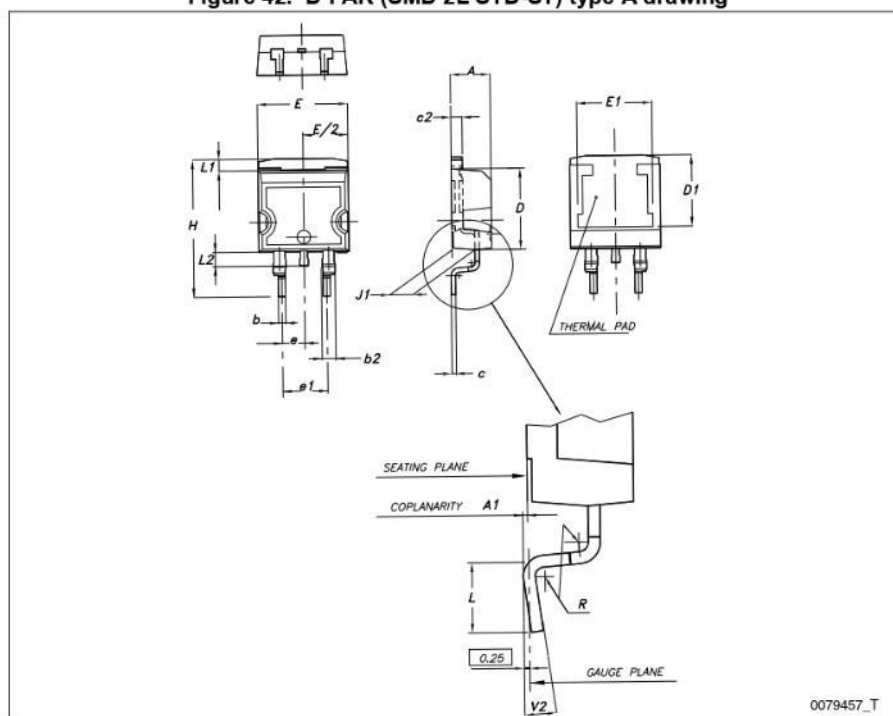
Table 22. DPAK mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	2.20		2.40
A1	0.90		1.10
A2	0.03		0.23
b	0.64		0.90
b4	5.20		5.40
c	0.45		0.60
c2	0.48		0.60
D	6.00		6.20
D1		5.10	
E	6.40		6.60
E1		4.70	
e		2.28	
e1	4.40		4.60
H	9.35		10.10
L	1.00		1.50
(L1)		2.80	
L2		0.80	
L4	0.60		1.00
R		0.20	
V2	0°		8°

Figure 41. DPAK footprint (q)



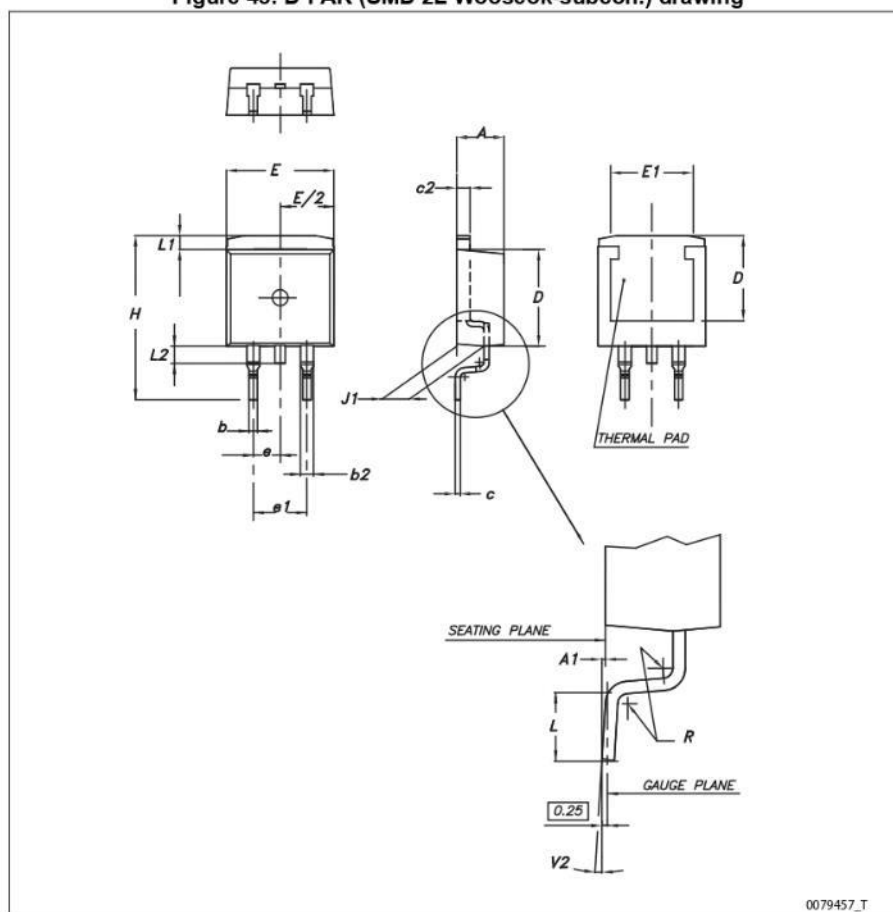
q. All dimensions are in millimeters

Figure 42. D²PAK (SMD 2L STD-ST) type A drawing

0079457_T

Table 23. D²PAK (SMD 2L STD-ST) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
A1	0.03		0.23
b	0.70		0.93
b2	1.14		1.70
c	0.45		0.60
c2	1.23		1.36
D	8.95		9.35
D1	7.50		
E	10		10.40
E1	8.50		
e		2.54	
e1	4.88		5.28
H	15		15.85
J1	2.49		2.69
L	2.29		2.79
L1	1.27		1.40
L2	1.30		1.75
R		0.4	
V2	0°		8°

Figure 43. D²PAK (SMD 2L Wooseok-subcon.) drawing

0079457_T

Table 24. D²PAK (SMD 2L Wooseok-subcon.) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.30		4.70
A1	0		0.20
b	0.70		0.90
b2	1.17		1.37
c	0.45	0.50	0.60
c2	1.25	1.30	1.40
D	9	9.20	9.40
D1	7.50		
E	10		10.40
E1	8.50		
e		2.54	
e1	4.88		5.08
H	15		15.30
J1	2.20		2.60
L	1.79		2.79
L1	1		1.40
L2	1.20		1.60
R		0.30	
V2	0°		3°

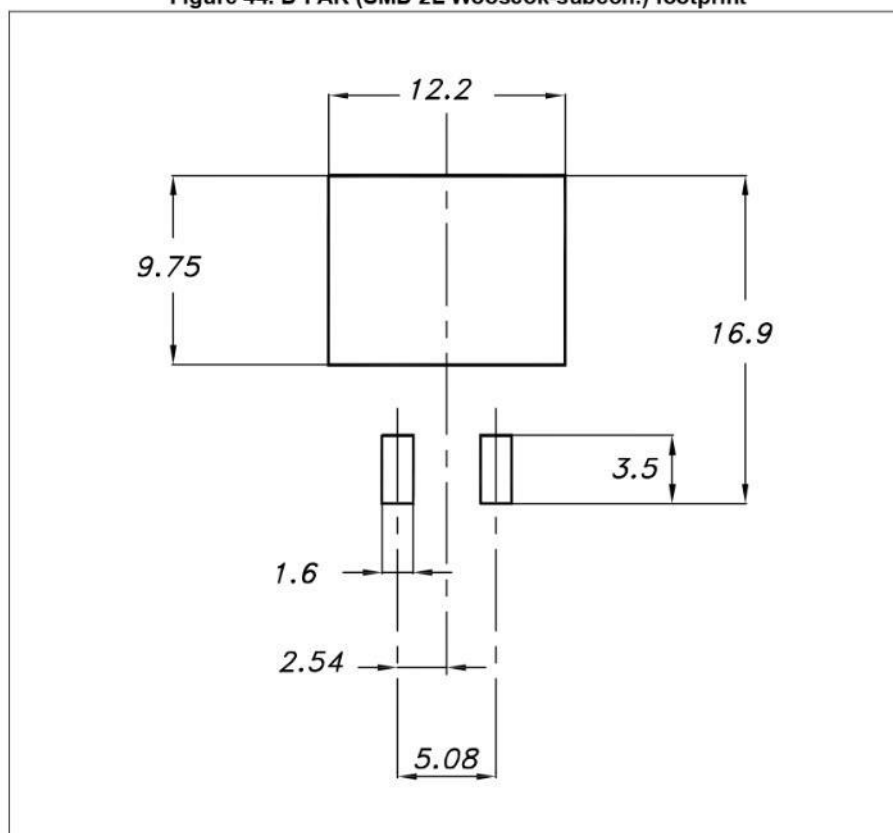
Figure 44. D²PAK (SMD 2L Wooseok-subcon.) footprint

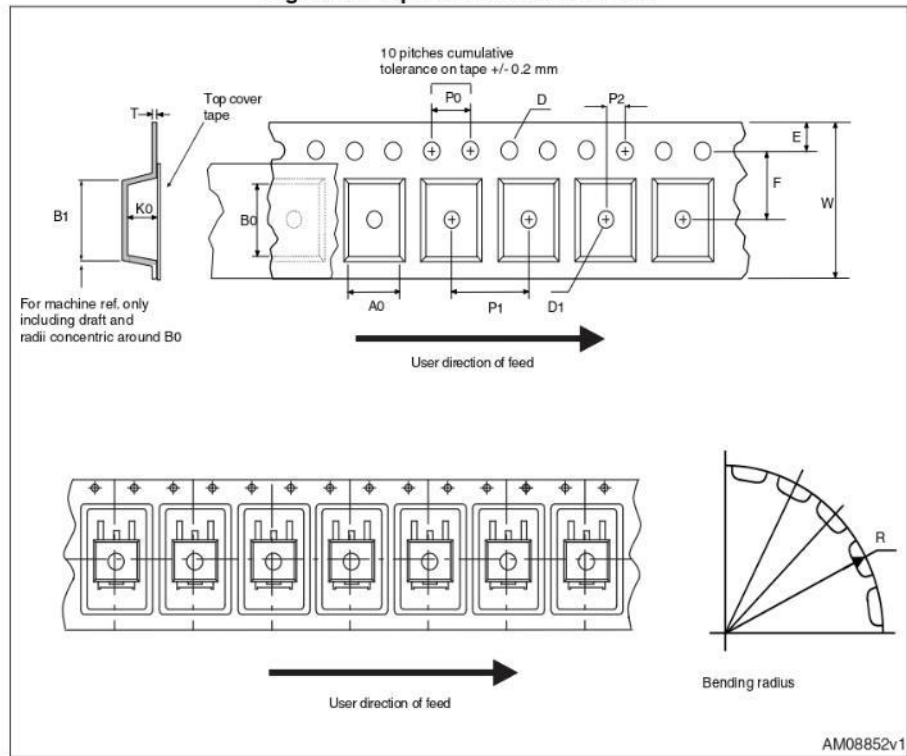
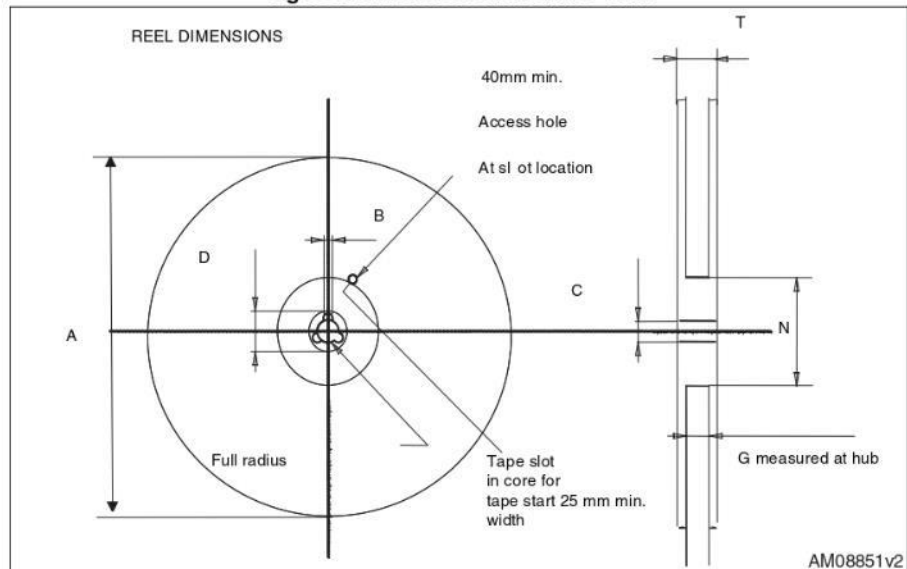
Figure 47. Tape for DPAK and D²PAKFigure 48. Reel for DPAK and D²PAK

Table 25. DPAK and D²PAK tape and reel mechanical data

Tape			Reel		
Dim.	mm		Dim.	mm	
	Min.	Max.		Min.	Max.
A0	6.8	7	A		330
B0	10.4	10.6	B	1.5	
B1		12.1	C	12.8	13.2
D	1.5	1.6	D	20.2	
D1	1.5		G	16.4	18.4
E	1.65	1.85	N	50	
F	7.4	7.6	T		22.4
K0	2.55	2.75			
P0	3.9	4.1	Base qty.		2500
P1	7.9	8.1	Bulk qty.		2500
P2	1.9	2.1			
R	40				
T	0.25	0.35			
W	15.7	16.3			

10 Order codes

Table 26. Order codes

Part numbers	Order codes					
	TO-220 (single gauge)	TO-220 (dual gauge)	DPAK	D ² PAK	TO-220FP	Output voltages
L7805C	L7805CV		L7805CDT-TR	L7805CD2T-TR	L7805CP	5 V
		L7805CV-DG				5 V
L7805AB	L7805ABV			L7805ABD2T-TR	L7805ABP	5 V
		L7805ABV-DG				5 V
L7805AC	L7805ACV			L7805ACD2T-TR	L7805ACP	5 V
		L7805ACV-DG				5 V
L7806C	L7806CV			L7806CD2T-TR		6 V
		L7806CV-DG				6 V
L7806AB	L7806ABV			L7806ABD2T-TR		6 V
		L7806ABV-DG				6 V
L7806AC	L7806ACV					6 V
		L7806ACV-DG				6 V
L7808C	L7808CV			L7808CD2T-TR		8 V
		L7808CV-DG				8 V
L7808AB	L7808ABV			L7808ABD2T-TR		8 V
		L7808ABV-DG				8 V
L7808AC	L7808ACV					8 V
		L7808ACV-DG				8 V
L7885C	L7885CV					8.5 V
L7809C	L7809CV			L7809CD2T-TR	L7809CP	9 V
		L7809CV-DG				9 V
L7809AB	L7809ABV			L7809ABD2T-TR		9 V
	L7809ABV-DG					9 V
L7809AC	L7809ACV					9 V
L7812C	L7812CV			L7812CD2T-TR	L7812CP	12 V
		L7812CV-DG				12 V
L7812AB	L7812ABV			L7812ABD2T-TR		12 V
		L7812ABV-DG				12 V
L7812AC	L7812ACV			L7812ACD2T-TR		12 V
		L7812ACV-DG				12 V

Table 26. Order codes (continued)

Part numbers	Order codes					
	TO-220 (single gauge)	TO-220 (dual gauge)	DPAK	D ² PAK	TO-220FP	Output voltages
L7815C	L7815CV			L7815CD2T-TR	L7815CP	15 V
		L7815CV-DG				15 V
L7815AB	L7815ABV			L7815ABD2T-TR		15 V
		L7815ABV-DG				15 V
L7815AC	L7815ACV			L7815ACD2T-TR		15 V
		L7815ACV-DG				15 V
L7818C	L7818CV					18 V
		L7818CV-DG				18 V
L7824C	L7824CV			L7824CD2T-TR	L7824CP	24 V
		L7824CV-DG				24 V
L7824AB	L7824ABV					24 V
		L7824ABV-DG				24 V
L7824AC	L7824ACV					24 V
		L7824ACV-DG				24 V

11 Revision history

Table 27. Document revision history

Date	Revision	Changes
21-Jun-2004	12	Document updating.
03-Aug-2006	13	Order codes has been updated and new template.
19-Jan-2007	14	D ² PAK mechanical data has been updated and add footprint data.
31-May-2007	15	Order codes has been updated.
29-Aug-2007	16	Added Table 1 in cover page.
11-Dec-2007	17	Modified: Table 26 .
06-Feb-2008	18	Added: TO-220 mechanical data Figure 38 on page 38 , Figure 39 on page 39 , and Table 23 on page 37 . Modified: Table 26 on page 55 .
18-Mar-2008	19	Added: Table 29: DPAK mechanical data on page 50 , Table 30: Tape and reel DPAK mechanical data on page 52 . Modified: Table 26 on page 55 .
26-Jan-2010	20	Modified Table 1 on page 1 and Table 23 on page 37 , added: Figure 38 on page 38 and Figure 39 on page 39 , Figure 45 on page 52 and Figure 46 on page 52 .
04-Mar-2010	21	Added notes Figure 38 on page 38 .
08-Sep-2010	22	Modified Table 26 on page 55 .
23-Nov-2010	23	Added: $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ test condition in ΔV_O on Table 3, 4, 5, 6, 7, 8 and Table 9 .
16-Sep-2011	24	Modified title on page 1.
30-Nov-2011	25	Added: order codes L7805CV-DG, L7806CV-DG, L7808ABV-DG, L7812CV-DG and L7815CV-DG Table 26 on page 55 .
08-Feb-2012	26	Added: order codes L7805ACV-DG, L7805ABV-DG, L7806ABV-DG, L7808CV-DG, L7809CV-DG, L7812ACV-DG, L7818CV-DG, L7824CV-DG Table 26 on page 55 .
27-Mar-2012	27	Added: order codes L7812ABV-DG, L7815ABV-DG Table 26 on page 55 .
27-Apr-2012	28	Modified: $V_I = 10.4\text{ V}$ to 23 V $\Rightarrow V_I = 11.4\text{ V}$ test conditon value Line regulation Table 6 on page 12 .
10-May-2012	29	Added: order codes L7806ACV-DG, L7808ACV-DG, L7815ACV-DG, L7824ABV-DG and L7824ACV-DG Table 26 on page 55 .
19-Sep-2012	30	Modified load regulation units from V to mV in Table 3 to Table 9 .
12-Mar-2013	31	Modified: V_O output voltage at $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ min. value 14.4 V Table 16 on page 22 .
04-Mar-2014	32	Part numbers L78xx, L78xxC, L78xxAB, L78xxAC changed to L78. Removed TO-3 package. Updated the description in cover page, Section 2: Pin configuration , Section 3: Maximum ratings , Section 4: Test circuits , Section 5: Electrical characteristics , Section 6: Application information , Section 8: Package mechanical data and Table 26: Order codes . Added Section 9: Packaging mechanical data . Minor text changes.

Please Read Carefully:

Information in this document is provided solely in connection with ST products. STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, modifications or improvements, to this document, and the products and services described herein at any time, without notice.

All ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection and use of the ST products and services described herein, and ST assumes no liability whatsoever relating to the choice, selection or use of the ST products and services described herein.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted under this document. If any part of this document refers to any third party products or services it shall not be deemed a license grant by ST for the use of such third party products or services, or any intellectual property contained therein or considered as a warranty covering the use in any manner whatsoever of such third party products or services or any intellectual property contained therein.

UNLESS OTHERWISE SET FORTH IN ST'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ST DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY WITH RESPECT TO THE USE AND/OR SALE OF ST PRODUCTS INCLUDING WITHOUT LIMITATION IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION), OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

ST PRODUCTS ARE NOT DESIGNED OR AUTHORIZED FOR USE IN: (A) SAFETY CRITICAL APPLICATIONS SUCH AS LIFE SUPPORTING, ACTIVE IMPLANTED DEVICES OR SYSTEMS WITH PRODUCT FUNCTIONAL SAFETY REQUIREMENTS; (B) AERONAUTIC APPLICATIONS; (C) AUTOMOTIVE APPLICATIONS OR ENVIRONMENTS, AND/OR (D) AEROSPACE APPLICATIONS OR ENVIRONMENTS. WHERE ST PRODUCTS ARE NOT DESIGNED FOR SUCH USE, THE PURCHASER SHALL USE PRODUCTS AT PURCHASER'S SOLE RISK, EVEN IF ST HAS BEEN INFORMED IN WRITING OF SUCH USAGE, UNLESS A PRODUCT IS EXPRESSLY DESIGNATED BY ST AS BEING INTENDED FOR "AUTOMOTIVE, AUTOMOTIVE SAFETY OR MEDICAL" INDUSTRY DOMAINS ACCORDING TO ST PRODUCT DESIGN SPECIFICATIONS. PRODUCTS FORMALLY ESCC, QML OR JAN QUALIFIED ARE DEEMED SUITABLE FOR USE IN AEROSPACE BY THE CORRESPONDING GOVERNMENTAL AGENCY.

Resale of ST products with provisions different from the statements and/or technical features set forth in this document shall immediately void any warranty granted by ST for the ST product or service described herein and shall not create or extend in any manner whatsoever, any liability of ST.

ST and the ST logo are trademarks or registered trademarks of ST in various countries.

Information in this document supersedes and replaces all information previously supplied.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics. All other names are the property of their respective owners.

© 2014 STMicroelectronics - All rights reserved

STMicroelectronics group of companies

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Philippines - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States of America

www.st.com

11.6.4. SERVOMOTOR LD-20MG



Key Features:

- 20kg High torque. 20kg·cm (277.6 oz·in) @6.6V
- Full metal gear, accuracy and service life are greatly increased
- Aluminium Case. Enhance the heat dissipation, ensure the servo motor to work well
- Using high-precision potentiometer with new design. Accuracy and linearity are improved much more. Accurate movement can satisfy the needs of making robots.
- 180 degree rotation. Controllable angle from 0 to 180 degrees, Excellent linearity, precision control. Able to be rotated within 360 degrees after power off

Specifications:

- Weight: 65g(2.32OZ)
- Dimension: 40*20*40.5mm(1.57*0.78*1.59inch)
- Speed: 0.16sec/60°(7.4V)
- Torque: 20 kg·cm (277.6 oz·in) @6.6V
- Working Voltage: 6-8V
- Min Working Current: 1A(Our servo needs a larger current than other servo)
- No-Load Current: 100mA
- Spline: 25T(6mm in diameter)
- Servo cable: 30cm(11.8inch) in length

Control Specifications:

- Control Method: PWM
- Pulse Width: 500~2500
- Duty Ratio: 0.5ms~2.5ms
- Pulse Period: 20ms

Please make sure that the duty cycle of the controller you are using conform to our specifications, otherwise the servo can't turn up to claimed degree.

Wire Layout:

- Red Wire: +
- Black Wire: GND
- White Wire: PWM/Signal

What's in the package:

- Digital servo x1
- Servo horn kit x1 (as shown in the figure)

Note:

Please be sure to avoid locked-rotor when using servo, locked-rotor means that artificially or machine obstructs the servo to rotate normally, the locked-rotor will lead to internal current increased to more than 7 times and the temperature increases, servo will burn out.

Important:

1. Connect GND is necessary.
2. It's recommended that use lithium polymer battery with high rate discharge (min 5C), please don't use dry battery.
3. Please use a short and thick power cord, don't use Dupont cord.
4. Not compatible for Redcat thunder drift RC car, not compatible for 1/16 scale car.

11.6.5. INCREMENTAL ENCODER SoGee 600P/R

Product description

Functions

√ It can be used to measure the rotational speed, Angle and acceleration of the object and the length measurement.

√ Suitable for a variety of intelligent control displacement measurement ,automatic fixed-length automatic guillotine paper machine, steel cut length control, civilian measured height human scale, students racing robots

. Specification

-Encoder size: 38 x 35.5mm/1.49" x 1.39"

-Shaft: 6 x 13mm/0.23" x 0.51"

-Axis stopper platform: High 5mm, 20mm

-Power source: DC 5-24V

-Maximum mechanical speed: 5000 R / min

-Response frequency: 0-20KHz

-Fixed empty as: three 3mm screw holes distribution of 120 degrees / or six 3mm screw holes into 60 degree distribution, to the center distance of 14mm.

-Wires length: 150cm

Wiring Output:

A phase, B phase, Vcc positive supply, V0, the shield wire.

Connection:

Green = A phase, white = B phase, red = power +, black = V0

Note: AB two -phase outputs must not be connected directly to VCC, otherwise, they will burn the output transistor.

Output

AB two -phase quadrature output rectangular pulse, the circuit output is NPN open collector output type ,the output of this type can and with additonal added pull-up resistor(not included) is directly connected MCU or PLC, such as 51 single or Mitsubishi PLC (PLC input mode should be connected to 0V switch function).

Note:

If the encoder is not connected to the device can not be directly connected to oscilloscope (open collector output without pull-up resistor when there is no

voltage output) If you want the oscilloscope in AB two-phase output, work with two pull-up resistors(not included).

Package content

1 x 600P/R Incremental Rotary Encoder

11.6.6. ENCODER ELECTROMECHANIC KY-040

16/6/2015

KY-040 Arduino Tutorial, Schematics and more. | Henry's Bench

Henry's Bench

a place for the electronic hobbyist

Menu

KEYES KY-040 ARDUINO ROTARY ENCODER USER MANUAL

Contents [\[show\]](#)



The Keyes KY-040 Rotary Encoder

The Keyes KY-040 rotary encoder is a rotary input device (*as in knob*) that provides an indication of how much the knob has been rotated AND what direction it is rotating in.

Its a great device for stepper and servo motor control. You could also use it to control devices like digital potentiometers.

Rotary Encoder Basics

A rotary encoder has a fixed number of positions per revolution. These positions are easily felt as small "clicks" you turn the encoder.

The Keyes module that I have has thirty of these positions.



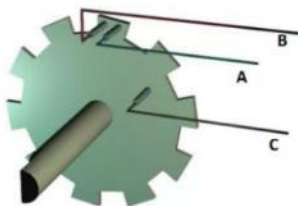
On one side of the switch, there are three pins. They are normally referred to as A, B and C. In the case of the KY-040, they are oriented as shown.

Inside the encoder there are two switches. One switch connects pin A to pin C and the other switch connects pin B to C.

In each encoder position, both switches are either opened or closed. Each click causes these switches to change states as follows:

- If both switches were closed, turning the encoder either clockwise or counterclockwise one position will cause both switches to open
- If both switches are open, turning the encoder either clockwise or counterclockwise one position will cause both switches to close.

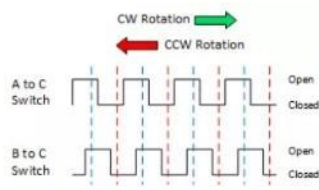
The illustration below is representative of how the switch is constructed.



As you can see, the angular position of the A terminal and the B terminal is such that:

- Rotating the switch clockwise will cause the switch connecting A and C to change states first.
- Rotating the switch counterclockwise will cause the switch connecting B and C to change states first.

If we were to represent the opening and closing of the switches as wave forms, it would look something like this.



<http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/keyes-ky-040-arduino-rotary-encoder-user-manual/>

WELCOME!!

[Privacy Policy](#)

[About Me](#)

ON EBAY...

ON AMAZON...

TOP POSTS & PAGES



[The ACS712 Current Sensor with an Arduino](#)



[ACS712 Current Sensor User Manual](#)



[MAX31855 Arduino K Thermocouple Sensor: Manual and Tutorial](#)



[Keyes KY-040 Arduino Rotary Encoder User Manual](#)



[U8glib Arduino OLED Tutorial 1: Hello World on Steroids](#)

FOLLOW ME ON TWITTER

Tweets

[Follow](#)



Capn Fatz

@CaptainFatz

1 Jun

Simple and straightforward.

henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/a...



Capn Fatz

@CaptainFatz

31 May

Playing Music on CNC

crazymakerprojects.capnfatz.com/playing-music-...

pic.twitter.com/M2oLcFsmfc



Capn Fatz

@CaptainFatz

29 May

Arduino Goofy Eyes

crazymakerprojects.capnfatz.com/arduino-goofy-...

pic.twitter.com/MMWpRKD55



1/4



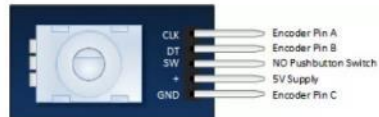
Essentially, determining which switch changed states first is how the direction of rotation of rotating is determined.

If A changed states first, the switch is rotating in a clockwise direction.

If B changed states first, the switch is rotating in a counter clockwise direction.

KY-040 Pin Outs

The pin outs for this rotary encoder are identified in the illustration below.



The module is designed so that a low is output when the switches are closed and a high when the switches are open.

The low is generated by placing a ground at Pin C and passing it to the CLK and DT pins when switches are closed.

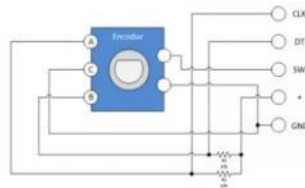
The high is generated with a 5V supply input and pullup resistors, such that CLK and DT are both high when switches are open.

Not previously mentioned is the existence of of push button switch that is integral to the encoder. If you push on the shaft, a normally open switch will close. The feature is useful if you want to change switch function. For example, you may wish to have the ability to between coarse and fine adjustments.

Keyes Rotary Encoder Schematic

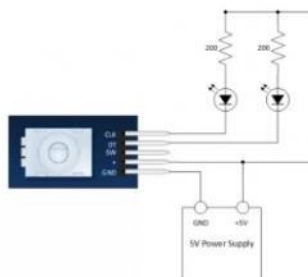
A schematic for this module is provided below. R2 and R3 in the schematic are pull up resistors.

Click on it for a bigger view.



Keyes KY-040 Evaluation Circuit

Successfully implementing the Rotary Encoder into any project requires a clear understanding of everything that has been discussed thus far. If you're still a little fuzzy, you may wish to throw together the evaluation circuit illustrated below:



VERY SLOWLY rotate then encoder shaft both clockwise and counterclockwise. Notice which LEDs change state first with rotation.

KY-040 Arduino Tutorial

Module Connection to the Arduino

Pretty straight forward... All you need to do is connect four wires to the module.

<http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/keyes-ky-040-arduino-rotary-encoder-user-manual/>



Capn Fatz
@CaptainFatz

27 May

1000W Battery Powered LED Flashlight
crazymakerprojects.capnfatz.com/1000w-battery-...
pic.twitter.com/SZKG5fAIUB



Capn Fatz
@CaptainFatz

25 May

Arduino Coca Cola Can Piano
crazymakerprojects.capnfatz.com/arduino-coca-c...
pic.twitter.com/jdcxjW16N



Tweet to @CaptainFatz

11.6.7. LCD2004 Module

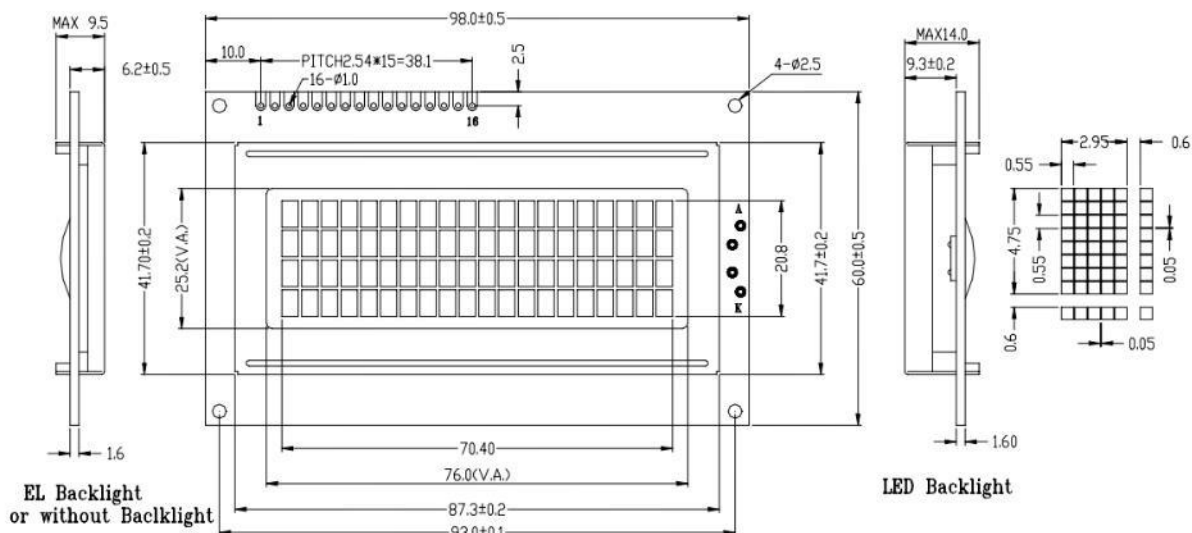
GDM2004D

SPECIFICATIONS OF LCD MODULE

Features

1. 5x8 dots
2. Built-in controller (S6A0069 or equivalent)
3. +5V power supply
4. 1/16 duty cycle
5. LED Backlight

Outline dimension

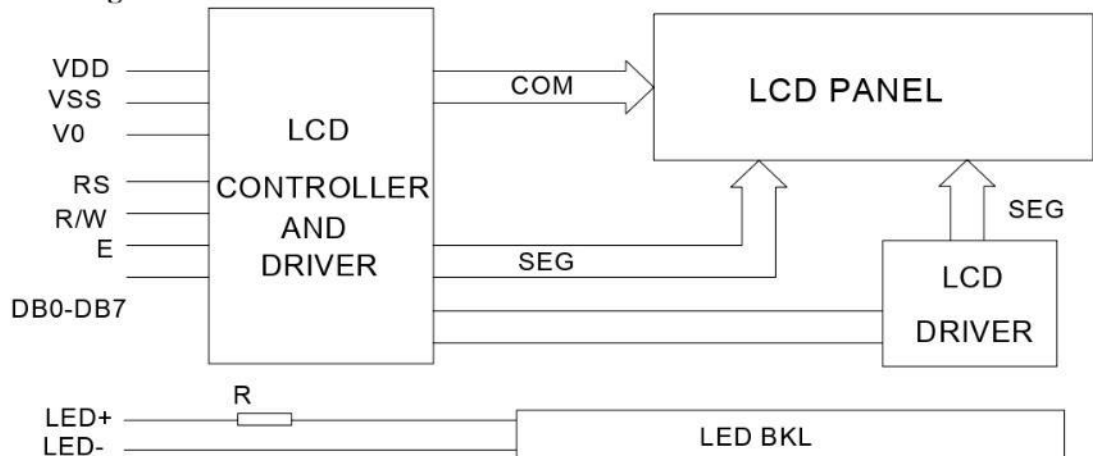


Unit: mm

Absolute maximum ratings

Item	Symbol	Standard			Unit
Power voltage	$V_{DD}-V_{SS}$	0	-	7.0	V
Input voltage	V_{IN}	V_{SS}	-	V_{DD}	
Operating temperature range	Top	0	-	+50	°C
Storage temperature range	Tst	-10	-	+60	
Environmental Humidity	$RH \leq 70\%$				
Expected Life Time	≥ 50000				H

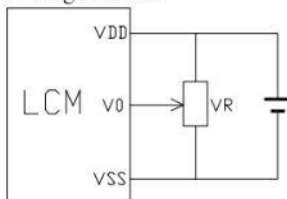
Wide temperature range is available
(operating/storage temperature as $-20 \sim +70 / -30 \sim +80^{\circ}\text{C}$)

Block diagram**Interface pin description**

Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	V_{SS}	Power supply	Signal ground for LCM (GND)
2	V_{DD}		Power supply for logic (+5V) for LCM
3	V_0		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	$DB0-DB3$	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	$DB4-DB7$	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	$LED+$	LED BKL power Supply	Power supply for BKL (Anode)
16	$LED-$		Power supply for BKL (GND)

Contrast adjust

A) For Single Source



For Module with Normal Temperature Range Fluid

 $V_{DD}-V_0$: LCD Driving voltage VR : 10k~20k

Optical characteristics

STN type display module (Ta=25°C, VDD=5.0V)

Item	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Viewing angle	θ	$C_r \geq 2$	-60	-	35	deg
	Φ		-40	-	40	
Contrast ratio	C_r		-	15	-	-
Response time (rise)	T_r	-	-	150	250	ms
Response time (fall)	T_f	-	-	150	250	

Electrical characteristics**LED ratings**

Item	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Forward Voltage	V_F	3.8	4.0	4.4	V
Forward current	I_F		240		mA
Power	P			1.01	W
Peak wave length	λ_p		568		nm
Luminance	L_v		185		Cd/m ²
Operating temperature range	VOP	-20	-	+70	°C
Storage temperature range	VST	-25	-	+80	

DC characteristics

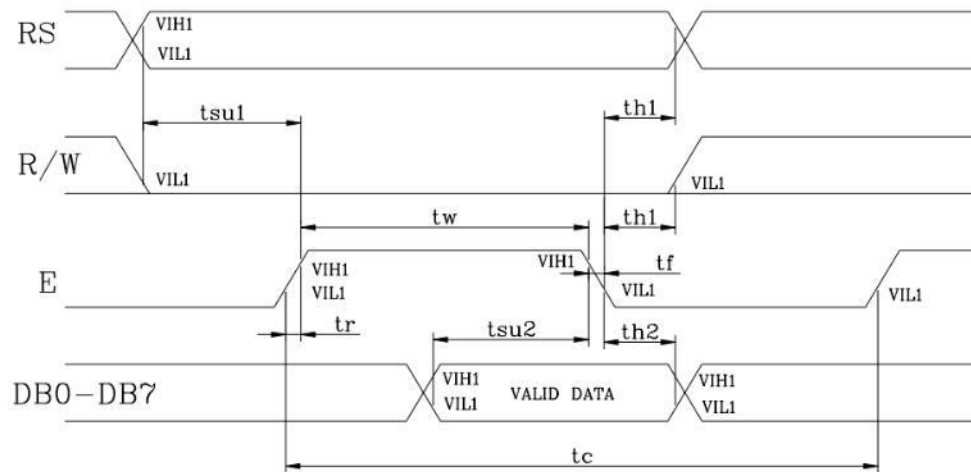
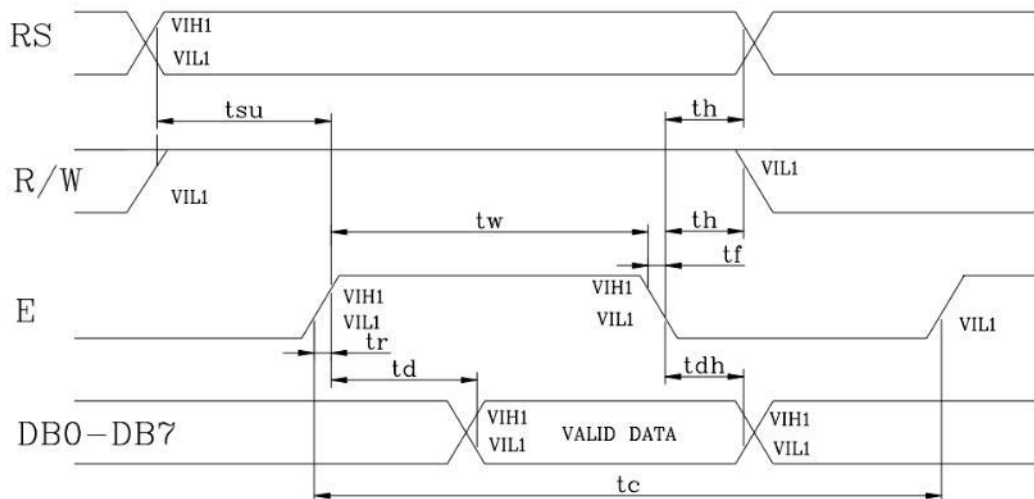
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply voltage for LCD	$V_{DD}-V_0$	Ta=25°C	-	4.6	-	V
Input voltage	V_{DD}		4.7	-	5.5	
Backlight supply voltage	V_F		-	4.1	4.3	
Supply current	I_{DD}	Ta=25°C, VDD=5.0V	-	1.5	3	mA
Backlight supply current	I_F	VDD=5.0V R=6.8	150			
Input leakage current	I_{LKG}		-	-	1.0	uA
“H” level input voltage	V_{IH}		2.2	-	V_{DD}	V
“L” level input voltage	V_{IL}	Twice initial value or less	0	-	0.6	
“H” level output voltage	V_{OH}	LOH=-0.25mA	2.4	-	-	
“L” level output voltage	V_{OL}	LOH=1.6mA	-	-	0.4	

Read cycle (Ta=25°C, VDD=5.0V)

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su}	RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_h	RS; R/W	10	-	-	
Read data output delay	t_d	DB0~DB7	60	-	90	
Read data hold time	t_{dh}		20	-	-	

Write cycle

Parameter	Symbol	Test pin	Min.	Typ.	Max.	Unit
Enable cycle time	t_c	E	500	-	-	ns
Enable pulse width	t_w		300	-	-	
Enable rise/fall time	t_r, t_f		-	-	25	
RS; R/W setup time	t_{su1}	RS; R/W	100	-	-	
RS; R/W address hold time	t_{h1}	RS; R/W	10	-	-	
Read data output delay	t_{su2}	DB0-DB7	60	-	-	
Read data hold time	t_{h2}		10	-	-	

Write mode timing diagram**Read mode timing diagram**

Instruction description

Outline

To overcome the speed difference between the internal clock of KS0066U and the MPU clock, KS0066U performs internal operations by storing control information to IR or DR. The internal operation is determined according to the signal from MPU, composed of read/write and data bus (Refer to Table7).

Instructions can be divided largely into four groups:

- 1) KS0066U function set instructions (set display methods, set data length, etc.)
- 2) Address set instructions to internal RAM
- 3) Data transfer instructions with internal RAM
- 4) Others

The address of the internal RAM is automatically increased or decreased by 1.

Note: during internal operation, busy flag (DB7) is read "High".

Busy flag check must be preceded by the next instruction.

When an MPU program with checking the busy flag (DB7) is made, it must be necessary 1/2 fuss for executing the next instruction by the falling edge of the "E" signal after the busy flag (DB7) goes to "LOW".

Contents

- 1) Clear display

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Clear all the display data by writing "20H" (space code) to all DDRAM address, and set DDRAM address to "00H" into AC (address counter).

Return cursor to the original status, namely, brings the cursor to the left edge on the first line of the display.

Make the entry mode increment (I/D="High").

- 2) Return home

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-

Return home is cursor return home instruction.

Set DDRAM address to "00H" into the address counter.

Return cursor to its original site and return display to its original status, if shifted.

Contents of DDRAM does not change.

- 3) Entry mode set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	I/D	SH

Set the moving direction of cursor and display.

I/D: increment / decrement of DDRAM address (cursor or blink)

When I/D="high", cursor/blink moves to right and DDRAM address is increased by 1.

When I/D="Low", cursor/blink moves to left and DDRAM address is increased by 1.

*CGRAM operates the same way as DDRAM, when reading from or writing to CGRAM.

(I/D="high". shift left, I/D="Low". Shift right).

- 4) Display ON/OFF control

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

Control display/cursor/blink ON/OFF 1 bit register.

D: Display ON/OFF control bit

When D="High", entire display is turned on.

When D="Low", display is turned off, but display data remains in DDRAM.

C: cursor ON/OFF control bit

When D="High", cursor is turned on.

When D="Low", cursor is disappeared in current display, but I/D register preserves its data.

B: Cursor blink ON/OFF control bit

When B="High", cursor blink is on, which performs alternately between all the "High" data and display characters at the cursor position.

When B="Low", blink is off.

5) Cursor or display shift

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-

Shifting of right/left cursor position or display without writing or reading of display data.

This instruction is used to correct or search display data. (Refer to Table 6)

During 2-line mode display, cursor moves to the 2nd line after the 40th digit of the 1st line.

When display data is shifted repeatedly, each line is shifted individually.

When display shift is performed, the contents of the address counter are not changed.

Shift patterns according to S/C and R/L bits

S/C	R/L	Operation
0	0	Shift cursor to the left, AC is decreased by 1
0	1	Shift cursor to the right, AC is increased by 1
1	0	Shift all the display to the left, cursor moves according to the display
1	1	Shift all the display to the right, cursor moves according to the display

6) Function set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-

DL: Interface data length control bit

When DL="High", it means 8-bit bus mode with MPU.

When DL="Low", it means 4-bit bus mode with MPU. Hence, DL is a signal to select 8-bit or 4-bit bus mode.

When 4-bit bus mode, it needs to transfer 4-bit data twice.

N: Display line number control bit

When N="Low", 1-line display mode is set.

When N="High", 2-line display mode is set.

F: Display line number control bit

When F="Low", 5x8 dots format display mode is set.

When F="High", 5x11 dots format display mode.

7) Set CGRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set CGRAM address to AC.

The instruction makes CGRAM data available from MPU.

8) Set DDRAM address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set DDRAM address to AC.

This instruction makes DDRAM data available from MPU.

When 1-line display mode (N=LOW), DDRAM address is from "00H" to "4FH".

In 2-line display mode (N=High), DDRAM address in the 1st line from "00H" to "27H", and DDRAM address

In the 2nd line is from "40H" to "67H".

9) Read busy flag & address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

This instruction shows whether KS0066U is in internal operation or not.

If the resultant BF is "High", internal operation is in progress and should wait BF is to be LOW, which by then if the next instruction can be performed. In this instruction you can also read the value of the address counter.

10) Write data to RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Write binary 8-bit data to DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM from DDRAM, and CGRAM, is set by the previous address set instruction (DDRAM address set, CGRAM address set).

RAM set instruction can also determine the AC direction to RAM.

After write operation. The address is automatically increased/decreased by 1, according to the entry mode.

11) Read data from RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Read binary 8-bit data from DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM is set by the previous address set instruction. If the address set instruction of RAM is not performed before this instruction, the data that has been read first is invalid, as the direction of AC is not yet determined. If RAM data is read several times without RAM address instructions set before, read operation, the correct RAM data can be obtained from the second. But the first data would be incorrect, as there is no time margin to transfer RAM data.

In case of DDRAM read operation, cursor shift instruction plays the same role as DDRAM address set instruction, It also transfers RAM data to output data register.

After read operation, address counter is automatically increased/decreased by 1 according to the entry mode.

After CGRAM read operation, display shift may not be executed correctly.

NOTE: In case of RAM write operation, AC is increased/decreased by 1 as in read operation.

At this time, AC indicates next address position, but only the previous data can be read by the read instruction.

Instruction table

Instruction	Instruction code										Description	Execution Time (fosc= 270 KHZ)
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRA and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	Set DDRAM address to "00H" From AC and return cursor to Its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53ms
Entry mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction And blinking of entire display	39us
Display ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display (D), cursor (C), and Blinking of cursor (B) on/off Control bit.	
Cursor or Display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	Set cursor moving and display Shift control bit, and the Direction, without changing of DDRAM data.	39us
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	Set interface data length (DL: 8-Bit/4-bit), numbers of display Line (N: =2-line/1-line) and, Display font type (F: 5x11/5x8)	39us
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address Counter.	39us
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address Counter.	39us
Read busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal Operation or not can be known By reading BF. The contents of Address counter can also be read.	0us
Write data to Address	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us
Read data From RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us

NOTE: When an MPU program with checking the busy flag (DB7) is made, it must be necessary 1/2fosc is necessary for executing the next instruction by the falling edge of the "E" signal after the busy flag (DB7) goes to "Low".

DDRAM address:

Display position																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53
14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27
54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67

DDRAM address

Standard character pattern

Upper 4bit Lower 4bit		LLLL	LLH	LLHL	LLHH	LHLL	LHLH	LHHL	LHHH	HLLL	HLLH	HLHL	HLHH	HHLL	HHHL	HHHH
LLLL	CG RAM (1)															
LLH	(2)															
LLHL	(3)															
LLHH	(4)															
LHLL	(5)															
LHLH	(6)															
LHHL	(7)															
LHHH	(8)															
HLLL	(1)															
HLLH	(2)															
HLHL	(3)															
HLHH	(4)															
HHLL	(5)															
HHLH	(6)															
HHHL	(7)															
HHHH	(8)															

11.6.8. KEYES 5V Relay Module KY-019

KEYES 5V Relay Module KY-019



Description

The new KEYES 5V Relay Module is perfectly made for Arduino application. It has three pins, the VCC, GND and Signal. It can act as switch if the circuit and the load circuit have different supply voltage. It is commonly use if the load circuit is AC. It is a switch used to connect isolated connection from the circuit using a circuit signal. It has red LED that turns on every time the coil is energized or the signal pin has a high input.

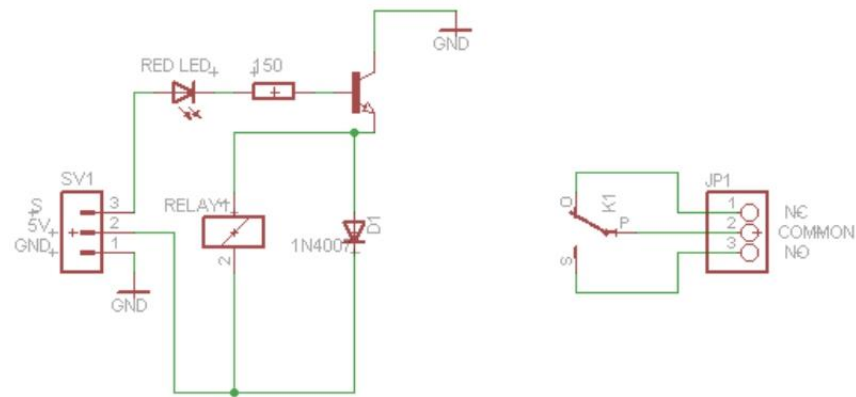
Specifications

- 5V – 12 V TTL control signal
- Maximum AC current and voltage : 10A 250VAC
- Maximum DC current and voltage : 10A 30VDC
- The control signal DC or AC, 220V AC load can be controlled
- There is a normally open and one normally closed contact
- To make the coil of relay energized you must need to have an input of 1 in the signal pin.

Pin Configuration

- + : 5V power supply
- - : Ground
- S : Signal from the Arduino
- NC : normally closed
- NO : normally open
- COMMON : common

Schematic Diagram



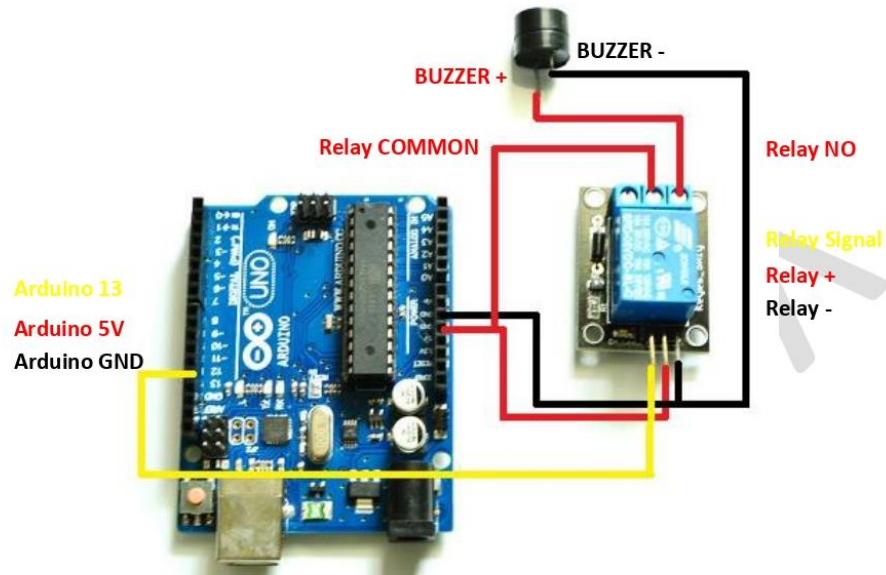
Sample Program

```
// Keyes 5V Relay Module Sample Program

void setup() {
  // initialize digital pin 13 as an output.
  pinMode(13, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // turn the 5V buzzer on
  delay(2000);           // on for two seconds
  digitalWrite(13, LOW);  // turn the 5V buzzer off
  delay(2000);           // off for two seconds
}
```

Wiring Diagram



Testing

1. Please check all the connections from the given wiring diagram.
2. Type the sample program in your Arduino sketch then upload.
3. The buzzer will turn on every two seconds.

* You can also hear the tick of relay every two seconds.